This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

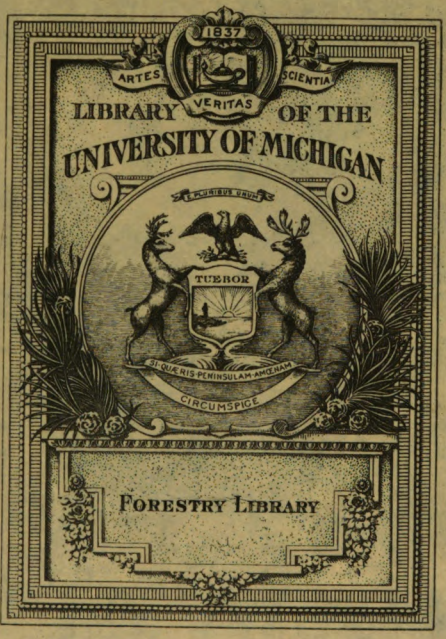
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

FORESTRY
SD
494
.J33

BUHR B

a39015 00001217 2b

Digitized by Google



Digitized by Google

Forestry
SD
494
J33

Die Härte des Holzes.

Von

Gabriel Janka

k. k. Forst- und Domänenverwalter.

(Mitteilung der k. k. forstlichen Versuchsanstalt in Mariabrunn.)

Wien 1906.

Wilhelm Frick, k. u. k. Hofbuchhandlung

I. Graben 27.

Digitized by Google

Digitized by Google

Die

Härte des Holzes.

Von

Gabriel Janka
k. k. Forst- und Domänenverwalter.

(Mitteilung der k. k. forstlichen Versuchsanstalt in Mariabrunn.)

Wien 1906.
Wilhelm Frick, k. u. k. Hofbuchhandlung
I. Graben 27.

Digitized by Google

Digitized by Google

Die

Härte des Holzes.

Von

Gabriel Janka
k. k. Forst- und Domänenverwalter.

(Mitteilung der k. k. forstlichen Versuchsanstalt in Mariabrunn.)

Wien 1906.
Wilhelm Frick, k. u. k. Hofbuchhandlung
I. Graben 27.

Digitized by Google

Digitized by Google

Forestry
Harvard
12-26-29
17972

I. Allgemeines.

Die Härte ist eine sowohl für die Gewinnung als auch für die Verarbeitung und Verwendung des Holzes sehr wichtige Eigenschaft; sie nimmt Einfluß auf den Arbeitseffekt bei der Holzerzeugung, sie bedingt die Leichtigkeit oder Schwierigkeit der Bearbeitung dieses Rohmaterials bei allen holzverarbeitenden Gewerben, sie ist maßgebend für die Verwendung bestimmter Hölzer zu besonderen Zwecken und für ganze Gewerbebetriebe, z. B. in der Holzbildhauerei, und ist endlich auch, da von der Härte auch die größere oder geringere Abnützung abhängt, mit ausschlaggebend für die Verwendbarkeit bestimmter Holzarten zu Straßenpflaster.

Unter Härte eines Körpers verstehen wir im allgemeinen den Widerstand, den derselbe dem Eindringen eines anderen zwischen seine Moleküle entgegensetzt. Sprechen wir von der Härte des Holzes, so denken wir uns unter dem eindringenden Körper stets eines der zur Holzbearbeitung dienenden, zum Eindringen in den Rohstoff günstig geformten Werkzeuge, also Axt, Hacke, Beil, Keil, Messer, Stemmeisen, Hobel, Säge, Raspel, Feile u. dgl. Da aber diese verschiedenen Werkzeuge in ganz verschiedener Weise auf die Substanz des Holzes einwirken und die einzelnen Teilchen zu trennen suchen, so müßte man eigentlich für jedes der verschiedenen Bearbeitungswerkzeuge eine eigene Härte finden. Dabei kommen auch verschiedene andere mechanische Eigenschaften des Holzes — Elastizität, Zähigkeit, Spaltbarkeit — zur Geltung, indem sie das Eindringen des Werkzeuges begünstigen oder erschweren. So wirkt der Keil zerreißend auf den seitlichen Zusammenhang der Fasern; ihm wirkt die Spaltfestigkeit entgegen, während die Federkraft seine Wirkung fördert; die Axt wirkt durch Zerschneiden der Längsfasern beim Schroten im Querholze, durch Spaltung und Schneiden im Längsholze. Säge, Raspel und Feile wirken durch Ritzen und Zerreißen der Fasern, Messer und Hobel schneidend, und zwar wieder in ganz verschiedener Weise, je nachdem das Holz längs oder quer zur Faser bearbeitet wird.

Auch beim Eintreiben eines Nagels ins Holz kann man von hindernder Härte sprechen, die hier hauptsächlich von der Spaltbarkeit des Holzes beeinflußt wird.

Ferner kommt bei der Beurteilung der Härte eines Holzes auch die Art und Weise der Anwendung der bearbeitenden Werkzeuge, ob durch Schlag, Stoß, Druck und Ziehen, und endlich die Geschwindigkeit in Betracht, mit der das betreffende Werkzeug bewegt wird.

Digitized by Google

Das Holz ist nun aber ein sehr ungleichmäßig gebauter Körper und besteht aus verschiedenen Gewebselementen, die an und für sich ganz verschiedene Härte besitzen; so kann die Herbstholzschicht bei Nadelhölzern 4mal so hart sein wie die Frühjahrsholzzone, die Markstrahlen des Eichenholzes 8mal so hart wie das großporige Frühholz. Ebenso verschieden wird die Holzhärte sich erweisen, wenn man das Holz einmal auf der Hirnfläche, das andere Mal auf der Radial- oder Tangentialfläche auf seine Härte untersucht; es wechselt also diese Eigenschaft oft schon in den allerkleinsten Partien eines Holzkörpers ganz bedeutend. Dazu kommt noch, daß, wie ich später nachweisen werde, auch die physikalischen Eigenschaften, die Feuchtigkeit und das spezifische Gewicht eines Holzmaterials, einen ganz bedeutenden Einfluß auf die Holzhärte ausüben, so daß also die exakte wissenschaftliche und ziffermäßige Bestimmung der Holzhärten den größten Schwierigkeiten unterliegt.

Nördlinger,[1] der Altmeister der Holztechnologie, erklärt es sogar als unmöglich, eine absolute Härte des Holzes zu ermitteln, indem er nur eine relative, nämlich für die einzelnen Werkzeuge, gelten läßt. Seine Härteskala der Hölzer ist daher auch nur auf Grund der Erfahrungen aufgestellt, die sich beim Gebrauche der verschiedenen Holzbearbeitungswerkzeuge im Laufe der Zeit ergeben haben, und er selbst nennt sie nur einen idealen Überblick über die Härtegrade der Hölzer. Nördlinger teilt die Hölzer nach ihrer Härte in 8 Klassen ein, und benennt diese einzelnen Härtegrade als: steinhart, beinhart, sehr hart, hart, ziemlich hart, etwas hart, weich und sehr weich. Diese Härteskala ist auch in die meisten Lehr- und Handbücher der mechanischen Technologie, der Baumaterialienkunde u. dgl. unverändert aufgenommen worden.

In ähnlicher Weise äußert sich auch Dr. W. F. Exner[2] über die einer exakten Härtebestimmung des Holzes entgegenstehenden Schwierigkeiten, so daß man sich, „wenn die Härte trotz alledem abgehandelt werden soll, auf einige Bemerkungen beschränken müsse, welche aus den im Gewerbebetriebe gesammelten Erfahrungen resultieren". Exner stellt 5 Härtegrade auf, in die er die einzelnen wichtigeren Holzarten in folgender Weise einreiht:

Sehr hart: Ebenholz, Guajak, die verschiedenen Eisenhölzer, gemeiner Sauerdorn, Buchs, Rainweide, Syringe, Kornelkirsche, Hartriegel, Weißdorn, Schwarzdorn;

hart: Akazie, Maßholder, Ahorn, Hainbuche, Waldkirsche, Mehlbeer, Kreuzdorn, Hollunder, Eibe;

ziemlich hart: Esche, Stechpalme, Maulbeer, Legföhre, Platane, Zwetsche, Zerreiche, Ulme, Buche, Eiche;

weich: Fichte, Tanne, Roßkastanie, Schwarzerle, Weißerle, Birke, Hasel, Wachholder, Lärche, Schwarzföhre, gemeine Föhre, Traubenkirsche, Salweide;

sehr weich: Paulownia, Weymouthsföhre, alle Pappelarten, Aspe, die meisten Weidenarten, Linde.

Diese Härteskalen können uns aber nur einen qualitativen Anhaltspunkt für die Beurteilung der Härte eines bestimmten Holzes bieten; handelt es sich jedoch darum, quantitativ, also ziffermäßig, die Härte mehrerer Holzarten zu vergleichen, so lassen sie uns im Stiche.

Wenn wir aber doch der Frage näher treten wollen, wie die Holzhärten wissenschaftlich exakt und in zahlenmäßigen Größen auszudrücken wären, so werden wir uns vor allem von dem Grundsatze emanzipieren müssen, die Härte des Holzes für irgendein zur Holzbearbeitung dienendes Werkzeug zu

---

[1] Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart 1860.

[2] Loreys Handbuch der Forstwissenschaft: Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Von W. F. Exner, in II. Auflage bearbeitet von G. Lauböck.

Digitized by Google

ermitteln, und von der allgemeinen Definition der Härte ausgehen, welche diese Eigenschaft als den Widerstand charakterisiert, den irgendein (praktisch geformter) Körper beim Eindringen in den zu prüfenden — also in unserem Falle in Holz — erleidet; auf die Form dieses zur Härteprüfung dienenden Körpers, der ins Holz mittels ruhiger, stetiger Druckkraft einzudrücken wäre und dessen Eindringungswiderstand als Druckkraft in exakter Weise gemessen werden kann, wird es also hauptsächlich ankommen.

Ich habe im Jahre 1900 einige Untersuchungen[1] veröffentlicht, welche damals zwar nicht direkt dem Zwecke der Härteprüfung des Holzes dienten, denen aber doch eine gewisse Beziehung zu den Härteprüfungen nicht abzusprechen ist. Es sind dies jene Untersuchungen, welche zum Studium der Verteilung der Druckfestigkeit auf der Querfläche einer und derselben Holzprobe gemacht wurden, in der Art, daß ein Eisenstempel (Würfel) von 10 cm^2 Querschnittsfläche in verschiedenen Partien der glattgehobelten Hirnfläche einer Holzprobe mittels der Materialprüfungsmaschine eingedrückt und der Widerstand bestimmt wurde, den dieser eindringende Eisenstempel hierbei erlitt.

Ich habe damals nachgewiesen, wie diese der Härte nahekommende Abart der Druckfestigkeit auf der Querfläche einer Fichtenholzplatte variiert, sich mit dem spezifischen Gewichte der untersuchten Holzpartie ändert und im allgemeinen mit der Zunahme der Jahrringdichte wächst. Diese Methode bildete ich späterhin in der Weise weiter, daß ich anstatt des 10 cm^2 großen Druckstempels einen solchen von 1 cm^2 Querfläche wählte und damit den Eindringungswiderstand bei verschiedenen, zu Straßenpflaster verwendeten Hölzern (Fichte, Tanne, Weiß- und Schwarzkiefer, Lärche, Rotbuche) prüfte.[2] Dies geschah zu dem Zwecke, um die Widerstandsfähigkeit der Pflasterstöckel gegen die Abnutzung durch harte, schwere Körper (Pferdehufeisen und Wagenräder) ziffermäßig festzustellen; ich habe diese Versuche schon damals als Härteprüfungen des Holzes bezeichnet.

Im Jahre 1900 hat der schwedische Oberingenieur J. A. Brinell eine Methode der Härteprüfung veröffentlicht,[3] welche auch für die Härteermittlung des Holzes geeignet erscheint, und die ich auch mit einigen Modifikationen zu meinen Härteprüfungsversuchen verwendete. Diese Methode besteht darin, daß eine gehärtete Stahlkugel von geringem Radius mittels Druck in den Gegenstand, der geprüft werden soll, eingetrieben, der Durchmesser des Eindruckes bestimmt, die Fläche der gebildeten sphärischen Vertiefung — in Quadratmillimeter ausgedrückt — berechnet und in den angewendeten Druck in Kilogramm dividiert wird. Diesen Quotienten nennt Brinell die „Härtezahl". Brinell hatte dabei hauptsächlich die Prüfung der Härte von Stahl und Eisen im Auge, wobei diese Methode den großen Vorteil hat, daß auch fertige Fabrikate, z. B. Panzerplatten, Eisenbahnschienen, Projektile 2c. geprüft werden können, ohne beschädigt zu werden, daß sie ferner leicht und rasch auszuführen ist und zuverlässige Resultate gibt, die auch auf die anderen technischen Eigenschaften des geprüften Materials gewisse Rückschlüsse gestatten.

Oberingenieur Brinell hat mit seiner Methode auch Härteprüfungen an Hölzern vorgenommen; er belastet eine 10 *mm* im Durchmesser messende Kugel mit einem stets (bei allen Holzproben) gleichen Gewichte (50 *kg*) und mißt den Durchmesser des von der Kugel gebildeten Eindruckes mit einem horizontal

---

[1] Mitteilungen aus dem forstl. Versuchswesen Österreichs. XXV. Heft. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. I. Fichte Südtirols. Von A. Hadek und G. Janka. 1900.

[2] Die Eignung des Buchenholzes zu Straßenpflaster im Vergleiche mit Nadelhölzern. Von G. Janka. „Centralblatt f. d. g. Forstwesen". 1902.

[3] Gießlers Baumaterialienkunde. Organ des Internationalen Verbandes für die Materialprüfung der Technik. Jahrgang 1900 (Stuttgart).

Digitized by Google

verschiebbaren Mikroskop, das im Gesichtsfelde mit einem Faden versehen ist, in der Weise, daß er zuerst den Faden an der einen Seite der Eindrucksfläche tangierend einstellt, dann soweit das Mikroskop verschiebt, bis der Faden den anderen Endpunkt des Durchmessers der Vertiefung tangiert, und am Nonius die Größe der Verschiebung, d. i. des Durchmessers der Eindrucksfläche abliest. Der Quotient

$$\frac{\text{Druckkraft } (kg)}{\text{eingedrückte Fläche } (mm^2)}$$

gibt dann die Härtezahl. Diese Art der Durchmessermessung dürfte nun, wenigstens für Holz, nicht genau genug arbeiten, denn man kann sich leicht vorstellen, daß ein sehr grobporiges, schwammiges Holz keinen scharfen Eindruck am Rande des Kugeleindruckes aufweisen wird.

Ich ging daher dazu über, den Kugeleindruck stets gleich groß und gleich tief zu machen und lieber die Kraft, die dazu nötig ist, zu variieren, da dieselbe ja am Manometer der Materialprüfungsmaschine genau abzulesen ist. Doch davon später.

Eine vorzügliche Abhandlung über die Härte des Holzes hat in letzter Zeit (1904) Dr. Max Büsgen, Professor an der Forstakademie in Hann. Münden, veröffentlicht.[1] Büsgen ist zugleich der erste Forscher, der die Härte fast aller unserer einheimischen und zahlreicher ausländischer Holzarten durch seine Untersuchungen ziffermäßig bestimmt hat. Sein Verfahren besteht darin, daß er mit Hilfe eines der van Schermbeckschen Bodensonde nachgebildeten Apparates mittels allmählich aufgelegter Gewichte eine Stahlnadel 2 *mm* tief in den Holzkörper eintreibt und die Größe des hierzu notwendigen Gewichtes in Grammen bestimmt, welche Zahl direkt die Holzhärte darstellt. Dr. Büsgen, gibt in seiner Übersicht für jede der auf Härte untersuchten Holzarten, die er nach natürlichen Familien ordnete, die Maximal- und Minimalwerte der durch seine Versuche erhaltenen Härtezahlen an; eine zweite dortselbst mitgeteilte Tabelle enthält die (durch Hundert geteilten) Durchschnittswerte dieser Härtezahlen, wobei die Holzarten nach ihrer Härte geordnet sind. Diese Härtezahlen differieren z. B. bei unseren einheimischen Hölzern zwischen 4 (Salix alba) und 80 (Buchs). Dr. Büsgen schlägt schließlich vor, die Ausdrücke für die Härte der Nördlingerschen Härteskala mit den von ihm gefundenen Härtezahlen in der Art zu verbinden, daß Härtegrad I, sehr weich — die Hölzer von der Härte 1 bis 10

II, weich „ „ „ „ „ 10 „ 20
usw., bis . . . . VIII, steinhart, „ „ „ „ „ 70 u. mehr

enthalten solle.

Die Bedenken, die ich gegen die Büsgensche Methode der Härtebestimmung von Hölzern hege, bestehen vor allem darin, daß die ins Holz eindringende Nadel, analog wie bei einem eingetriebenen Nagel, hauptsächlich spaltend wirkt und die gewonnene Härtezahl in erster Linie die Festigkeit des seitlichen Zusammenhanges der Fasern zum Ausdruck bringt. Ferner sind bei dieser Methode die bei den Einzelproben auf kleinster Fläche schon konstatierten Verschiedenheiten in der Holzhärte so große, daß ihre Zusammenfassung zu Mittelzahlen in der Art, daß das arithmetische Mittel aus dem erhaltenen Maximal- und Minimalwerte gebildet wird, ein unsicheres Resultat geben muß, wenn man nicht eine Unzahl von Einzelproben, die wiederum im Verhältnisse der Größe der harten und weichen Holzpartien stehen müssen, an einem und demselben Holzstücke sowohl als auch an verschiedenen im spezifischen Gewichte differierenden Holzproben der gleichen Holzart vornimmt. Dagegen kann man sich bei der von

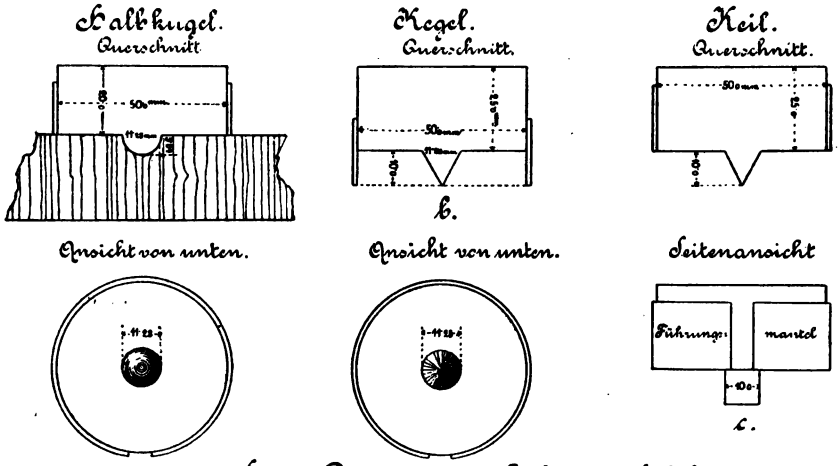
[1] Zur Bestimmung der Holzhärten. Von Prof. Dr. M. Büsgen. Zeitschrift für Forst- nnd Jagdwesen 1904.

Digitized by Google

mir proponierten **Kugelprobe** schon aus dem Grunde mit einer kleineren Anzahl von auf das einzelne Holzstück entfallenden Einzelproben begnügen, weil dabei doch eine **größere Fläche** (1 cm^2) mittels einer **einzigen** Probe geprüft und damit die Härte einer **stets mehrere Jahrringe** mit ihren härteren und weicheren Partien umfassenden Fläche gefunden wird.

Diesen geäußerten Mängeln der **Büsgen**schen Nadelprobe dürfte es daher auch zuzuschreiben sein, daß in der **Büsgen**schen Skala z. B. das Lärchenholz (mit der Härte 21·5) als härter erscheint wie das Eichenholz (Quercus robur E., mit der Härte 20), oder das Ulmenholz (16·5 bis 17·0 Härte) als weicher angegeben ist als das Tannenholz (18·5).

Ich will jedoch durch diese soeben geäußerten Bedenken keineswegs den Wert der **Büsgen**schen Arbeit herabsetzen, zumal der Autor selbst zugesteht,



Eiserne Druckstücke zur Prüfung der Holzhärte.

Fig. 1.

daß seine Methode zweifellos Bedenken unterliegt, seine Härtezahlen keinen absoluten Wert für die einzelnen Holzarten beanspruchen und zunächst nur für die untersuchten Proben gelten sollen.

II. Methode der Härtebestimmung mittels Kugelprobe.

Wie ich bereits im vorstehenden angedeutet, besteht die von mir bei den Härteprüfungen des Holzes angewandte Methode darin, daß ein harter Körper von geeignet erscheinender Form, in unserem Falle eine **Kugel**, in die gehobelte Fläche des zu untersuchenden Holzes zwischen den beiden Preßplatten der Materialprüfungsmaschine eingetrieben und der **Widerstand**, ausgedrückt in **Kilogrammen**, bestimmt wird, den das Holz dabei entgegensetzt.

Während aber **Brinell** zu seinen Härteprüfungen eine volle Kugel als Eindringungskörper verwendet, dieselbe mit einem stets gleichen, direkt aufgelegten Gewichte (50 *kg*) ins Holz eindrückt und die Größe des hierbei erzielten Ein-

Digitized by Google

druckes als Maßstab der Härte benutzt, bestimme ich aus den schon erwähnten Gründen die Holzhärte direkt durch den Widerstand, welchen das Eindringen einer Halbkugel von 1·00 cm^2 größtem Kreise bis zu diesem größten Kreise erfordert. Die Halbkugel ist zu diesem Zwecke an einem zylindrischen Druckstücke in der Art angebracht, wie Fig. 1a zeigt.

Der Radius dieser Halbkugel und somit die Eindringungstiefe des Druckstückes ist demnach 5·642 *mm*, der Durchmesser 11·284 *mm*, der von der Halbkugel verursachte Eindruck hat eine Fläche von genau 1·00 cm^2, was insofern von Wichtigkeit ist, als ja auch alle übrigen Festigkeitszahlen auf 1 cm^2 Querfläche bezogen werden.

Dabei entfällt also die bei der Brinellschen Kugelprobe notwendige, doch etwas umständliche Messung der Größe der von der Kugel eingedrückten Holzfläche, und es beschränkt sich die Härteprüfung auf die Beobachtung der zum vollständigen Eindrücken der Halbkugel nötigen Druckkraft.

Diese Beobachtung unterliegt aber bei der Einrichtung unserer Materialprüfungsmaschine, bei welcher die jeweils ausgeübte Druckkraft an einem offenen Quecksilbermanometer abgelesen wird, keiner weiteren Schwierigkeit: Man hat nur nötig, das Steigen der Quecksilbersäule am Manometer aufmerksam zu verfolgen und jene Druckkraft an der Skala abzulesen, welche in dem Momente von der Maschine geleistet und angezeigt wird, da die Halbkugel vollkommen ins Holz eingedrückt erscheint. Dieser Moment äußert sich sofort durch ein rapides Steigen der bis dahin langsam sich hebenden Quecksilbersäule, weil in diesem Augenblicke zufolge der Konstruktion des Druckstückes eine 20mal größere Druckfläche auf dem zu prüfenden Holzstücke aufsitzt, deren Einpressen ins Holz daher auch momentan eine 20mal so große Kraft beansprucht, als jene war, die zum Eindruck des Druckstückes bis zum größten Kreise der Halbkugel (1 cm^2 Fläche) erforderlich war.

Die Genauigkeit der Druckangabe der Maschine beträgt 10 *kg*.

Damit das Druckstück, an welchem die zur Härteprüfung ins Holz eindringende Halbkugel angebracht ist, bequem auf der glattgehobelten Holzfläche aufgesetzt werden kann und sich parallel zur Fläche des größten Kreises eindrückt, gleitet dasselbe in einem Führungsmantel aus Blech, wie in der Fig. 1a ersichtlich gemacht ist.

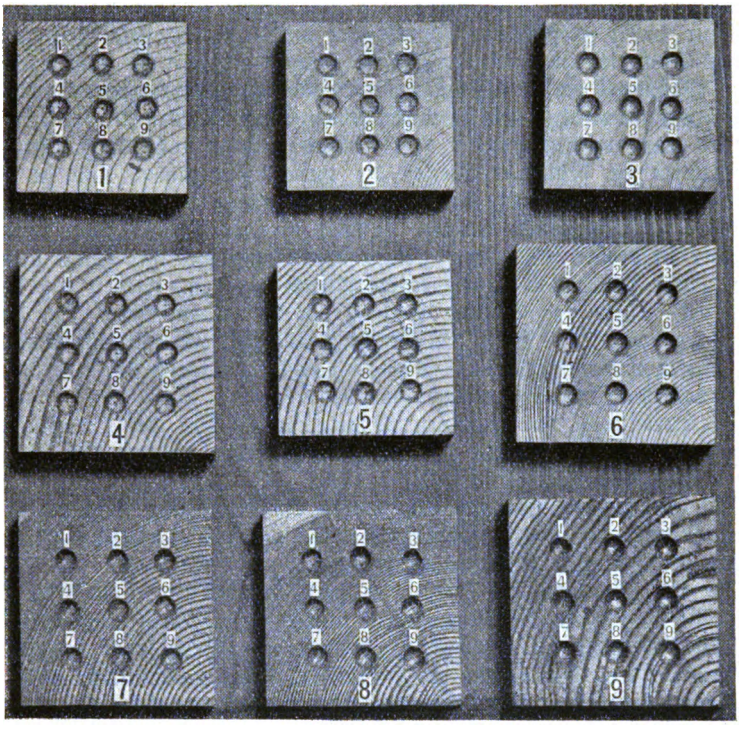
Die Probekörper, welche zu den Härteprüfungen verwendet wurden, sind 2·5 *cm* starke Platten von quadratischer Querfläche mit etwa 10 *cm* Seitenlänge, in der Art aus dem Stammquerschnitte gewonnen, daß eine Ecke der Querfläche am Marke anliegt, die entgegengesetzte die Rinde tangiert. Dies gilt aber nur für die Untersuchungen der Härte von der Hirnfläche aus; für die Härteprüfungen quer zur Faser, also von der Spiegel- und Tangentialfläche aus, mußten in der Längsrichtung der Faser länger dimensionierte Proben gewählt werden.

Grundsätzlich wurde nur ast- und fehlerfreies Holzmaterial auf seine Härte hin untersucht. Asteinschlüsse würden die Härte eines Holzes bedeutend erhöhen; namentlich sind die Hornäste der Nadelhölzer von ganz abnorm großer Härte.

Es lag nicht in der Absicht meiner Versuche, möglichst zahlreiche in- und ausländische Holzarten auf ihre Härte zu prüfen und eine Härteskala aufzustellen; ich bezweckte vielmehr damit, eine mir geeignet erscheinende Härteprüfungsmethode auf ihre Anwendbarkeit für Holz zu prüfen und dabei den Einfluß einiger bis jetzt nicht genügend gewürdigter physikalischer Eigenschaften des Holzes, nämlich denjenigen der Feuchtigkeit und des spezifischen Gewichtes, auf die Holzhärte zu erforschen.

Zu diesem Zwecke mußten einerseits Proben derselben Holzart, aber von verschiedenem Jahrringbau und verschiedenem spezifischen Gewichte bei gleicher

Digitized by Google



Fg. 2. Ansicht der Querschnittsflächen von Nadelhölzern, mittels der Kugelprobe auf Härte geprüft.

Tabelle A.

Erklärung zu Fig. 2.

Nummer der Probeplatte	Holzart (Nadelhölzer)	Jahringbreite	Spezifisches Lufttrockengewicht	Feuchtigkeit in Prozenten des absol. Trockengewichtes	Spezifisches Gewicht absolut trocken	Beobachteter Widerstand des Holzes beim Eindringen des Druckstückes (Kugelprobe des Hirnholzes = Härte) in Feld Nummer 1	2	3	4	5	6	7	8	9	im Mittel	Reine Druckfestigkeit der ganzen Probeplatte
		mm	bei d. Prüf.		100-fach	Kilogramm pro 1 cm²										kg/cm²
1	Fichte	4·65	33·1	13·7	30·9	250	220	200	230	200	210	190	220	210	215	272
2		1·06	46·0	14·5	43·3	320	360	370	400	390	350	400	350	360	367	381
3		1·01	54·8	15·4	52·1	400	420	430	420	420	440	420	440	420	423	461
4	Tanne	3·95	41·8	15·1	37·9	340	320	360	400	340	330	390	340	330	350	344
5		3·92	43·1	14·6	39·6	280	360	420	360	370	310	340	310	290	338	369
6		1·67	50·4	16·4	45·4	410	500	450	450	420	350	420	370	320	410	547
7	Lärche	0·75	55·9	17·5	51·3	280	280	280	320	280	290	300	320	280	292	388
8		0·78	64·0	17·8	60·8	310	330	340	330	330	320	340	320	310	326	452
9		4·26	67·7	16·4	62·0	590	560	500	420	450	460	330	430	420	462	405

Digitized by Google

Feuchtigkeit, anderseits aber auch vollkommen gleichartige und kongruente, also von demselben Holzstücke nebeneinander abgeschnittene Proben untersucht werden, die sich nur durch verschiedene Feuchtigkeit unterschieden. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes im stark durchnäßten (die betreffenden Proben waren 7 Monate im Wasser gelegen), lufttrockenen, lufttrockenen, zimmertrockenen und absolut trockenen Zustande erfolgte auf stereometrischem Wege, die Ermittlung der Feuchtigkeit jeweils nach vorgenommener Härteprüfung durch vollständige Austrocknung im Trockenofen in bekannter Weise; die Feuchtigkeitszahlen sind in Prozenten des Gewichtes des absoluttrockenen Zustandes angegeben.

Auf jeder Probeplatte wurden, soferne es ihre Größe nur immer zuließ, je 9 Felder in geometrisch genau gleicher Verteilung auf ihre Härte geprüft und für die ganze Probe das arithmetische Mittel gezogen. Feld 1 lag dabei stets zunächst der Rinde im Splint, Feld 9 am Marke im Kern. Bei der Härteprüfung kongruenter, nur durch den Feuchtigkeitsgehalt sich unterscheidender Probeplatten wurde namentlich darauf Gewicht gelegt, daß stets die gleichen Holzpartien von der Prüfung getroffen wurden.

Die Verteilung der einzelnen Kugeleindrücke auf der Querfläche ist aus der Fig. 2 zu ersehen, die ein Tableau mit Härteproben von drei Nadelhölzern (Fichte, Tanne und Lärche) darstellt.[1]

Nach vollzogener Härteprüfung wurde die betreffende Probeplatte in ihrer Gänze auch noch der Druckprobe unterworfen, um das Verhältnis der Härte zu dieser Art der Festigkeit studieren zu können.

Die Wirkungsweise der ins Holz eindringenden Halbkugel ist mit der Wirkungsweise keines einzigen unserer Holzbearbeitungswerkzeuge, bei welchen die Überwindung der Härteeigenschaft eine Rolle spielt, vergleichbar; es werden bei unserer Härteprobe die Holzfasern weder zerschnitten, noch gespalten oder zerrissen, sondern einfach zusammengedrückt, und zwar um so mehr, je tiefer die Halbkugel eindringt, während gleichzeitig mit dem tieferen Eindringen des Druckstückes am Rande der Kugel immer neue Teilchen unter Druck geraten. Diese in Beziehung auf die sonstigen Wirkungsäußerungen der Holzbearbeitungswerkzeuge sozusagen neutrale Wirkungsweise der Härteprüfungskugel ist meiner Ansicht nach auch mit ein Grund, der für die Anwendung dieser Methode zur Bestimmung der absoluten Härte eines Holzes spricht.

Ich habe auch einige anders geformte Druckstücke in ihrer Wirkung beim Eindringen ins Holz untersucht, d. h. ihre Eignung zur Härteprüfung erprobt, und zwar einen Kegel von 1 cm^2 Basis und 1 cm Höhe, ferner einen Keil von 1 cm^2 quadratischer Basis und ebenfalls 1 cm Höhe bei 1 cm Schneidenbreite. Diese Druckstücke sind gleichfalls in Fig. 21, und zwar unter b, beziehungsweise c dargestellt. Die Härteproben mit einem würfelförmigen Eisenstempel von 1 cm^2 Querfläche habe ich bereits erwähnt und verweise ich auf die bezügliche Abhandlung.[2]

Mittels des Registrierapparates der Festigkeitsprüfungsmaschine konnte ich die Beziehungen feststellen, die zwischen der Tiefe der Eindringung und der hierzu jeweils erforderlichen Druckkraft, also des Eindringungswiderstandes (Härte) des Holzes bei den einzelnen Druckstücken: Halbkugel, Kegel und Keil bestehen. Die betreffenden Diagramme sind für 3 Holzarten: Ebenholz, Rotbuche und Fichte, und zwar für lufttrockenes Holz, in Fig. 3 zur Anschauung gebracht.

---

[1] Bereits auf der internationalen botanischen Ausstellung 1905 in Schönbrunn ausgestellt gewesen.

[2] Die Eignung des Buchenholzes zu Straßenpflaster im Vergleiche mit Nadelhölzern. Centralblatt f. d. g. Forstwesen. 1902.

Digitized by Google

Bei der Halbkugel wird danach der Eindringungswiderstand, wenn die Eindringungstiefe den vierten Teil des Radius übrschritten hat, mit der Tiefe des Eindruckes geringer, und zwar um so mehr, je geringer die Härte des betreffenden Holzes ist; beim Kegel tritt das umgekehrte Verhältnis ein, der Eindringungswiderstand wächst rascher als die Tiefe des Eindruckes, während beim Keile ein mit der Eindringungstiefe fast genau proportionaler Eindringungswiderstand zu beobachten ist.

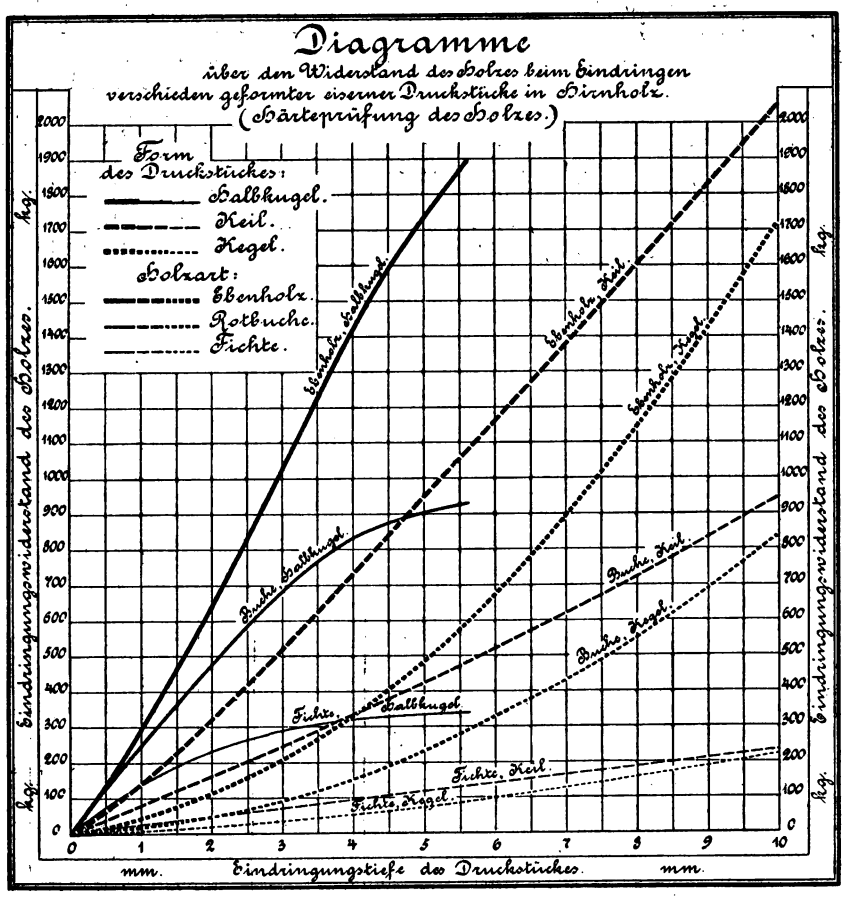


Fig. 3.

Der Kegel wirkt hierbei in der Art eines ins Holz eingeschlagenen Nagels, also spaltend, die Faserbündel seitlich abtrennend; obwohl seine Eindringungstiefe eine bedeutend größere ist als bei der Halbkugel, so erreicht doch der Eindringungswiderstand beim Kegel nicht jene Höhe, wie ihn die Halbkugel zu überwinden hat; denn die ins Holz eindringende Kegelspitze wird den harten, widerstandfähigsten Herbstholzmänteln ausweichen können und sie zur Seite schieben, während dieselben von der Kugel, der sie standhalten

Digitized by Google

müssen, niedergedrückt werden. Aus diesem Grunde erscheint mir das Kegeldruckstück für die Härteprüfung des Holzes weniger geeignet als die Halbkugel. Dasselbe gilt von dem keilförmigen Druckstücke (Fig. 1 c); denn dessen Wirkungsweise ist zum Teile eine schneidende (an der scharfen eindringenden Kante), zum Teile eine abscherende (an den zwei vertikalen Dreiecksseiten des Keils), teils eine spaltende, (durch das Eindringen der Schneide veranlaßt), also eine recht komplizierte Wirkungsweise. Auch der würfelförmige Stempel (1 cm^2 Querschnitt) ist als Normaldruckstück für Härteprüfungen des Holzes ungeeignet. Bei ihm tritt die Eigentümlichkeit auf, daß er beim Eindringen in lufttrockenes Nadelholz schon bei geringer Eindruckstiefe ein Maximum des Widerstandes erreicht; dieser Wendepunkt im gegenseitigen Verhältnisse von Eindringungstiefe und -Widerstand ist als Druckbruch anzusehen. Feuchtes Nadelholz und Laubhölzer verhalten sich dagegen anders; hier wächst der dem eindringenden Würfel-Druckstück vom Holze entgegengesetzte Widerstand zwar sehr langsam, aber doch etwas bis zur vollen Eindringungstiefe von 1 *cm*, wie ich dies graphisch in der schon oben genannten Abhandlung dargestellt habe.

Ein vergleichender Härteprüfungsversuch mit den vier soeben beschriebenen Druckstücken: Halbkugel, Kegel, Keil und Würfel, und zwar an lufttrockenem Fichten-, Lärchen- und Buchenholz ist in der untenstehenden Tabelle B vor-

Tabelle B.

Härteprüfung mit verschieden geformten Druckstücken.

Form des zur Härteprüfung verwendeten Druckstückes	Holzart	Nr. der Probeplatte	Beobachteter Widerstand des Holzes beim vollständigen Eindringen des Druckstückes in lufttrockenes Hirnholz									
			in Feld Nummer									im Mittel
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
			Kilogramm pro 1 cm^2									
Halbkugel	Fichte	1	250	290	300	310	320	290	300	290	270	291
Kegel		2	230	240	240	250	250	230	260	240	240	242
Keil		3	250	270	260[1]	290[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	—
Würfel		4	410	440	460	480	440	440	480	450	450	450
Halbkugel	Lärche	1	400	400	400	370	420	430	380	340	340	387
Kegel		2	340	300	320	320	340	360	320	290	320	323
Keil		3	380[2]	380[2]	370[2]	330[2]	180[2]	180[2]	360[2]	130[2]	100[2]	—
Würfel		4	820	800	830	710	850	810	820	820	750	801
Halbkugel	Rothbuche	1	690	740	750	770	820	840	790	840	750	777
Kegel		2	510	540	620	680	740	780	740	790	720	680
Keil		3	560	640	620	660	740	780	700	780	660	682
Würfel		4	980	1010	1040	1040	1060	1100	1040	1050	940	1029

[1] und [2] Bei der Probe zersprungen.

geführt. Die vier Probeplatten jeder Holzart sind natürlich, weil von demselben prismatischen Holzstück nebeneinander abgesägt, vollkommen gleichartig und es stellen daher auch die gleichbezeichneten Felder auch jeweils die gleiche Holzpartie dar. Die leicht spaltbaren Hölzer Fichte und Lärche hielten leider wegen zu geringer Dimensionierung der Probeplatten (2·5 *cm* in der Faserrichtung) dem Eindringen des Keildruckstückes nicht stand, indem sie vor dem vollständigen Eindringen desselben barsten.

Digitized by Google

III. Einfluß verschiedener Faktoren auf die Holzhärte.

Die Faktoren, welche auf die Härte eines Holzes Einfluß nehmen, sind vor allem:

1. Der anatomische Bau des Holzes, der sich in der Verschiedenartigkeit der Härte ausdrückt, je nachdem man

a) den Holzkörper in der Längsrichtung der Fasern, also von der Hirnfläche aus, oder senkrecht zur Faser, d. i. von der Radial- (Spiegel-) Fläche oder Tangentialfläche aus untersucht.

Bei der Härteprüfung von Hirn aus läßt sich der Einfluß

b) der Jahrringbildung (Breit- und Engringigkeit, Herbstholzausbildung) wahrnehmen.

Ferner sind noch von großem Einflusse auf die Holzhärte

2. das spezifische Gewicht und

3. die Feuchtigkeit des Holzes.

Anschließend an die Erörterungen des Einflusses dieser physikalischen Eigenschaften möchte ich auch noch

4. die Veränderungen in der Härte besprechen, welche durch die Imprägnierung des Holzes und durch die Einwirkung der Atmosphärilien auf dasselbe herbeigeführt werden.

1. Einfluß des anatomischen Baues auf die Holzhärte.

a) Hirnholz und Längsholz.

Die Härtezahlen des Hirn- und Längsholzes der von mir untersuchten Hölzer sind in den Tabellen C und J enthalten, und zwar bringt Tabelle C die Untersuchungsergebnisse jener Holzarten, von denen ich ihrer Bedeutung wegen mehrere voneinander verschiedene Proben nahm, während Tabelle J auf Seite 27 die Durchschnittswerte aus diesen Ergebnissen, sowie jene Hölzer umfaßt, von denen mir nur je eine Probe zur Verfügung stand.[1]

Die Härteprüfungen an Längsholz wurden sowohl auf der Radial- als auch auf der Tangentialfläche, jedoch nur in lufttrockenem Zustande des Holzes, vorgenommen.

Die Tabellen C und J zeigen, daß die Härte des Längsholzes (arithmetisches Mittel aus Radial- und Tangentialholzhärte) fast durchwegs geringer ist, als jene des Hirnholzes, und zwar bei den Nadelhölzern durchschnittlich etwa um 30%, bei den Laubhölzern um etwa 20% der Härte des Hirnholzes nachsteht. Bei den leichten Nadelhölzern Fichte und Tanne beträgt die Härte des Längsholzes etwas mehr als die Hälfte der Hirnholzhärte; bei einigen sehr harten Hölzern (Eibe, Zerreiche, Hülse (Ilex aquifolium) dagegen wird die Hirnholzhärte von der Härte des Längsholzes, wenigstens im Spiegelschnitt, noch übertroffen, was auch bei dem weichsten aller Hölzer, dem Palmenholze, der Fall ist.

In dem gegenseitigen Verhalten der Holzhärten von Radial- und Tangentialschnitt läßt sich ein bestimmtes, gleichmäßig geltendes Gesetz nicht erkennen; im allgemeinen scheint bei den Nadelhölzern die Radialschnittfläche, bei den Laubhölzern die Tangentialschnittfläche die härtere Seite zu sein.

---

[1] Um Wiederholungen zu vermeiden und auch den Überblick über den Zusammenhang der einzelnen physikalischen und technischen Eigenschaften der untersuchten Hölzer nicht zu verlieren, mußten in die beiden Tabellen C und J auch die Untersuchungsergebnisse über Jahrringbildung, Feuchtigkeit, spezifisches Gewicht und Druckfestigkeit aufgenommen werden.

Digitized by Google

Tabelle C.

Einfluß der Feuchtigkeit und des spezifischen Gewichtes auf die Härte des Holzes längs und quer zur Faser.

Holzart	Spezifisches Absolutrockengewicht	Jahrringbreite	Härteprüfung mittels Halbkugel: von der Hirnfläche aus, im nassen Zustande: spezif. Gew.	Feuchtigkeit	Härte	im lufttrockenen Zustande: spez. Gew.	Feuchtigkeit	Härte	Radialfläche: lufttrocken Härte	Tangentialfläche: lufttrocken Härte	Reine Druckfestigkeit der Probeplatte: naß	lufttrocken	Quotient Härte: spez. Gew.	Quotient Druckfest.: spez. Gew.
	100fach	mm	100fach	%	kg/cm²	100fach	%	kg/cm²	kg/cm²		kg/cm²		lufttrocken	
Fichte	31·0	4·65	83·7	202·3	98	38·2	13·1	208	110	127	137	280	6·3	8·4
	31·5	3·41	84·6	202·0	99	33·7	13·6	184	110	123	147	296	5·5	8·8
	33·3	2·67	103·7	242·6	117	35·9	13·7	252	117	157	164	313	7·0	8·7
	38·0	2·15	93·7	179·8	139	41·1	13·0	257	103	130	192	393	6·3	9·6
	39·1	2·56	—	—	—	41·4	—	271	187	210	—	382	6·5	9·2
	39·6	3·39	97·0	182·4	136	41·9	13·6	264	160	230	186	395	6·3	9·4
	41·5	1·16	91·3	155·0	170	43·7	14·0	276	160	170	221	410	6·3	9·4
	43·3	1·06	87·4	128·5	191	45·8	13·4	371	190	193	205	409	8·1	8·9
	45·6	2·28	97·8	148·6	172	48·2	13·2	301	190	230	215	470	6·2	9·7
	52·1	1·01	105·7	139·8	192	54·4	14·1	425	273	247	233	486	7·8	8·9
Tanne	37·9	3·95	98·7	183·6	143	41·1	14·0	338	163	177	190	350	8·2	8·5
	39·5	1·67	—	—	—	41·7	—	354	183	173	—	355	8·5	8·5
	39·6	3·92	95·6	170·0	160	42·8	14·0	347	187	187	198	377	8·1	8·8
	45·4	1·64	97·6	136·4	200	49·9	14·7	410	193	210	247	484	8·2	9·7
Weißkiefer	42·2	2·61	95·6	151·6	163	45·8	13·3	282	177	210	176	375	6·2	8·2
	46·1	2·32	102·0	144·2	143	49·9	13·0	286	217	193	184	393	5·7	7·9
	49·3	4·28	114·0	153·6	174	55·5	13·7	363	253	257	178	360	6·5	6·5
	51·8	1·43	100·0	120·9	178	55·0	9·9	388	233	227	213	539	7·1	9·8
	53·9	1·45	—	—	—	56·6	—	401	277	300	—	545	7·1	9·6
Schwarzkiefer	47·2	3·20	—	—	—	50·7	15·0	291	233	250	—	334	5·7	6·6
	52·3	1·76	101·9	116·1	153	56·8	10·1	324	233	213	150	402	5·7	7·1
	57·0	2·28	—	-	—	59·8	—	469	313	353	—	488	7·8	8·2
Lärche	50·3	2·03	106·7	154·4	236	53·3	13·7	377	287	250	253	445	7·1	8·3
	51·3	0·75	105·7	139·1	183	55·3	15·3	315	303	273	216	432	5·7	7·8
	52·1	1·48	—	—	—	54·8	—	400	290	267	—	484	7·3	8·8
	58·2	0·78	108·1	127·3	198	62·0	14·6	351	297	327	310	544	5·7	8·8
	58·6	2·05	105·6	113·0	213	62·0	14·3	398	380	343	284	516	6·4	8·3
	60·8	0·78	110·0	121·5	191	63·8	15·5	332	330	343	290	520	5·2	8·1
	61·3	4·26	89·3	65·2	268	67·0	14·6	487	407	513	255	449	7·3	6·7
	62·4	1·73	108·2	113·2	258	65·5	13·1	510	327	377	266	574	7·8	8·8
Linde	33·8	4·00	—	—	—	36·1	9·4	210	—	—	—	240	5·8	6·7
	46·2	4·00	—	—	—	49·1	13·8	354	210	250	—	430	7·2	8·8
Ulme	59·8	1·42	98·2	89·0	422	64·2	15·0	570	477	393	—	423	8·9	6·6
	65·8	2·54	109·5	96·2	482	71·0	13·6	700	610	567	—	444	9·9	6·3
Nußbaum	59·2	3·90	112·5	123·4	350	65·0	14·0	652	567	550	—	390	10·0	6·0
	65·2	5·19	114·9	108·6	447	69·3	13·1	758	600	513	—	450	10·9	6·5
Stiel- und Trauben-Eiche	62·3	2·62	117·6	118·3	471	67·5	13·8	610	510	443	—	457	9·0	6·8
	64·5	1·55	101·2	84·9	440	68·0	14·7	622	523	340	305	490	9·1	7·2
	74·3	1·12	93·1	48·8	528	78·5	10·7	844	600	523	—	651	10·8	8·3
	77·3	1·65	121·6	93·3	554	82·9	14·8	795	713	520	—	529	9·6	6·4
	79·2	1·25	—	—	—	83·6	15·3	750	747	610	—	600	9·0	7·2
Berg-Ahorn	57·7	1·77	107·8	109·2	470	63·4	14·3	683	500	530	—	410	10·8	6·5
	59·8	1·86	116·2	123·0	433	64·1	13·2	734	467	583	—	458	11·5	6·2
	65·7	1·35	120·0	109·3	574	70·0	13·6	800	597	527	—	562	11·4	8·0
Rotbuche	64·0	1·61	116·2	110·6	436	68·0	13·7	687	557	513	—	543	10·1	8·0
	65·4	1·57	—	—	—	67·9	—	790	653	577	—	597	11·6	8·8
	70·0	1·99	117·8	94·3	549	74·6	14·9	856	667	620	—	516	11·5	6·9
	73·7	2·22	106·8	78·5	430	78·3	15·3	792	733	673	—	482	10·1	6·2
	75·9	1·52	100·9	57·9	599	79·8	14·3	976	833	680	—	611	12·2	7·7
	78·3	1·79	119·0	86·9	596	81·8	14·9	967	833	767	—	625	11·8	7·6
Weißbuche	80·0	1·16	—	—	—	83·6	15·1	922	750	790	—	605	11·0	7·2
	82·4	1·08	99·9	45·7	616	86·4	10·7	1174	743	690	—	732	13·6	8·5

Digitized by Google

Prof. Dr. Büsgen hat bei seiner Härteprüfungsmethode die Härte des Längsholzes fast ausnahmslos höher gefunden, als diejenige des Hirnholzes; offenbar dringt die Nadelspitze parallel zur Faser, also zwischen die Längsfasern, Gefäße und Poren des Hirnholzes leichter ein, als sie den harten Mantel der Herbstholzringe in der Quere zu durchbohren imstande ist. Bei der Kugelprobe trifft hier, wie erwähnt, in der Regel das Gegenteil zu.

b) Jahrringbildung und Holzhärte.

Es läge nahe, der Jahrringbildung einen entscheidenden Einfluß auf die Härte eines Holzes zuzuschreiben; denn je engringiger ein Holz, desto dichter sein Gefüge und desto mehr Holzteilchen hätte der eindringende, den Härtewiderstand hervorrufende Körper auf seinem Wege zu knicken oder zur Seite zu schieben. Dies trifft aber ebensowenig allgemein zu wie bezüglich des Verhältnisses zwischen Jahrringbreite und spezifischem Gewichte oder Druckfestigkeit. Betrachtet man z. B. die auf dem Tableau in Fig. 2, Seite 9, abgebildeten Fichtenholzplatten 2 und 3 und die als Erläuterung beigegebene Tabelle A, so findet man, daß dieselben zwar gleiche Jahrringbreiten (1·06, beziehungsweise 1·01 *mm*), aber sehr verschiedene durchschnittliche Härte haben (367, beziehungsweise 423 *kg/cm²*). Ähnliches gilt von den 3 Lärchenholzplatten dieses Tableaus in Fig. 2; hier hat die Platte 9 eine mittlere Jahrringbreite von 4·26 *mm*, gegenüber der äußerst geringen von Platte 7 (0·75 *mm*) und Platte 8 (0·78 *mm*); und doch hat Platte 9 eine durchschnittliche Härte von 462 *kg/cm²*, Platte 7 und 8 nur eine solche von 292, beziehungsweise 326 *kg/cm²*.

Dagegen unterliegt es keinem Zweifel und erhellt auch aus den bezüglichen Daten der zur Fig. 2 gehörigen tabellarischen Erklärung A, daß die Härte einer und derselben Holzart im allgemeinen mit dem Steigen des spezifischen Gewichtes wächst. Es wäre also zu untersuchen, welcher im anatomischen Baue des Holzes begründete und makroskopisch feststellbare Umstand dieses Steigen des spezifischen Gewichtes und damit gleichzeitig auch jenes der Härte bewirkt. Hierzu wird uns das Tableau Fig. 4, welches je 3 Fichten-, 3 Weißföhren- und 3 Lärchenholzplatten, also lediglich Nadelhölzer abbildet, mit der zugehörigen Figurenerklärung Tabelle D behilflich sein.

Dieses Tableau ist zwar in erster Linie zu dem Zwecke zusammengestellt, die Variabilität der Druckfestigkeit auf dem Querschnitte einer und derselben Holzprobe zu demonstrieren. Da aber die auf diese Weise mittels Eindrückens eines eisernen Stempels von 10 *cm²* Querfläche ermittelte Druckfestigkeit auch gleichzeitig die gegenseitigen Unterschiede in der Härte angibt, so unterliegt es keinem Bedenken, wenn wir die hierbei gewonnenen Zahlen der Druckfestigkeit gleichzeitig als relative Härtezahlen ansehen.

Für jedes der 9 Felder einer jeden auf diesem Tableau dargestellten Probeplatte der genannten 3 Holzarten wurde die mittlere Jahrringbreite, das mittlere Herbstholzprozent und die erwähnte Abart der Druckfestigkeit bestimmt, sodann auch die für die ganze Platte geltenden Durchschnittszahlen dieser Eigenschaften ermittelt.

Wenn man nun die Ziffern des Herbstholzprozentes und der Druckfestigkeit (Härte) in dieser Tabelle vergleicht, so läßt sich zweifellos feststellen, daß ein Steigen oder Fallen der Druckfestigkeit mit einer gleichsinnigen Bewegung der Größe des Herbstholzprozentes verbunden ist; dies gilt sowohl für die einzelnen Felder der 9 Probeplatten als auch für die Durchschnittswerte der 3 einer und derselben Holzart angehörigen Probeplatten. Daß dieses Gesetz auch Ausnahmen aufweist, kann uns beim Holze nicht überraschen. Je bestimmter abgegrenzt, je dunkler und je breiter die Herbstholzzonen beim Nadelholze, desto größer das spezifische Gewicht und die Druckfestigkeit (Härte) des betreffenden Holzes.

Digitized by Google

Sehen wir uns nun nochmals die Probeplatten des Tableaus Fig. 2 (Seite 9) an, so finden wir auch hier eine Bestätigung dieses Gesetzes. So überwiegt bei der Probeplatte 3, von einer Erzgebirgsfichte herstammend, das Herbstholz bedeutend gegenüber jenem der Platte 2, daher auch die erstere Platte eine größere Härte zeigt, während die Jahrringbreite gleich ist, und die Lärchenprobe 9 dieses Tableaus hat trotz ihrer sehr bedeutenden Jahrringbreite (4·26 *mm*)

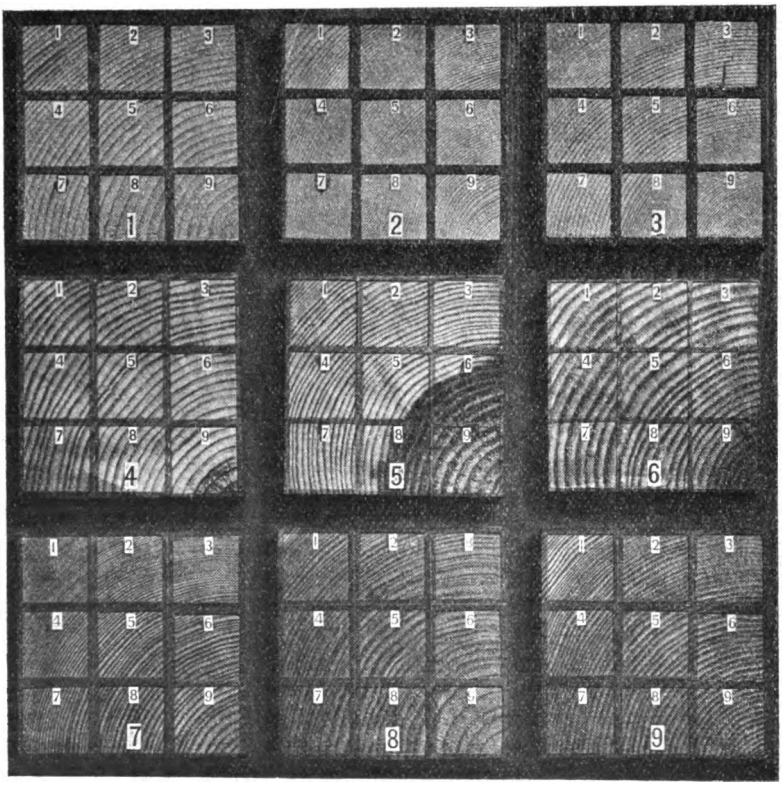


Fig. 4. Variabilität der Druckfestigkeit, beziehungsweise Härte in verschiedenen Partien der Querfläche einer und derselben Holzprobe.

doch eine größere Härte (462 kg/cm^2) als die Lärchenholzplatten 7 und 8, weil eben bei Platte 9 das Herbstholz ganz bedeutend stärker ausgebildet erscheint als auf den zwei anderen Probeplatten.

Dasselbe Gesetz gilt auch von den Laubhölzern; mit dem Zurücktreten der lockeren, mit Gefäßporen durchsetzten Frühholzschicht und dem verhältnismäßigen Anwachsen der breiten, harten Herbstholzzonen überwiegt auch hier die Härte des Holzes. Bei den Laubhölzern mit gefärbtem Kerne hat die Verkernung, also die Einlagerung von Kernsubstanz und Thyllen in die Zellen, eine Vergrößerung der Härte im Gefolge; dagegen gilt dies nicht für jene Verkernung beim Nadelholze (z. B. Weiß- und Schwarzkiefer), welche haupt-

Digitized by Google

Tabelle D.

Erklärung zu Fig. 4.

Nr. der Probeplatte	Holzart. Nadelhölzer	Ganze Probeplatte			Jahrringbreite des Feldes Nr.									Spätholz (Herbstholz) in Feld Nr.									Druckfestigkeit, beziehungsweise Härte, geprüft mit dem Eisenstempel von 10 cm² Querschnitt in Feld Nr.									
		Jahrringbreite	Spätholzprozent	Spezifisch. Lufttrockengewicht	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mittel
		mm	%	100-fach	Millimeter									in Prozenten der Jahrringbreite									*kg* pro 1 *cm²*									
1	Fichte	3·61	7·1	35·4	2·40	2·42	2·96	2·79	3·86	4·32	3·90	4·88	4·93	16·4	8·9	4·8	8·0	7·2	4·4	6·7	5·6	2·2	382	344	334	329	327	335	332	305	319	334
2		1·43	10·2	41·5	2·07	1·29	1·32	1·34	1·27	1·43	1·18	1·34	1·59	6·9	11·1	10·8	10·6	11·2	10·0	12·1	10·6	9·0	390	476	462	462	445	478	448	465	456	453
3		1·60	17·6	43·4	1·31	1·51	1·75	1·85	2·02	1·24	2·19	1·40	1·14	17·5	19·2	17·6	16·5	19·4	21·8	13·2	18·2	14·8	474	471	444	451	438	474	448	494	469	462
4	Weißkiefer	4·16	22·2	51·4	4·00	3·91	3·70	4·19	4·44	4·33	3·70	4·25	4·93	33·6	26·4	30·2	24·9	16·0	18·0	27·0	16·5	11·8	482	449	469	441	430	397	474	414	390	395
5		3·24	23·3	52·2	1·93	2·47	2·48	2·59	3·17	4·15	3·00	3·84	5·55	29·6	26·7	23·4	24·1	26·2	23·7	19·7	21·1	15·5	432	405	372	449	340	354	417	370	342	387
6		4·52	32·1	57·8	4·93	5·06	4·52	4·80	4·67	3·91	5·14	3·95	3·70	34·7	32·2	31·4	31·3	37·1	30·6	32·9	33·3	25·7	438	434	392	432	428	453	431	458	418	431
7	Lärche	1·59	29·6	60·3	0·65	1·00	1·14	1·21	1·71	2·00	1·50	2·21	2·96	31·5	30·9	22·8	32·5	37·5	33·6	28·8	27·7	21·5	593	524	502	510	503	506	492	492	451	508
8		3·13	24·8	68·7	1·71	2·00	3·00	2·12	3·06	3·70	2·52	3·71	6·34	33·6	29·6	21·1	29·7	24·4	25·7	26·3	25·9	6·9	702	652	673	713	602	556	700	548	343	610
9		2·34	36·8	69·4	1·71	1·93	2·25	1·95	2·78	2·93	2·30	2·73	2·47	46·0	38·8	35·5	38·7	36·9	36·3	34·5	32·8	31·4	727	742	730	753	679	682	707	676	672	707

Digitized by Google

sächlich durch stärkere Harzeinlagerung hervorgerufen wird: Hier scheint der Harzreichtum des Kernholzes eher das Gegenteil, also eine Erweichung der Holzfaser und daher eine Verminderung der Härte zu bewirken, wie dies bei den Probeplatten der Weißkiefer in Fig. 4 (Tabelle D) der Fall ist.

2. Einfluß des spezifischen Gewichtes auf die Holzhärte.

Es ist von vornherein einleuchtend, daß ein Holz um so härter sein muß, je größer die in der Volumseinheit zusammengedrängte Menge der festen Holzsubstanz sein wird, und je geringer der Raum in derselben ist, den die mit Luft gefüllten Zellen und Gefäße einnehmen, d. h. also je größer das spezifische Gewicht eines Holzes ist. Dies gilt allerdings nur für trockenes Holz, während die Feuchtigkeit die entgegengesetzte Erscheinung hervorruft, nämlich das Gewicht erhöht und die Härte vermindert.

Dieses Gesetz vom Steigen der Härte mit dem Wachsen des spezifischen Trockengewichtes gilt streng genommen nur für eine und dieselbe Holzart, während man bei verschiedenen Holzarten dem schwereren Holze nicht ohne weiteres auch die größere Härte zuschreiben darf. Offenbar spielen hier neben der Holzdichte auch die Steifheit der Fasern und die Kohärenz derselben eine Rolle. So haben z. B. Zerreiche und Ölbaum (Tabelle J), gleiches spezifisches Trockengewicht, 75·0; letzteres Holz hat aber eine Härte von 916 kg/cm^2, ersteres eine solche von nur 665 kg/cm^2.

Im großen und ganzen läßt sich aber doch, wenn man vom Einzelfalle und der einzelnen Holzart absieht, ein Steigen der Holzhärte mit dem Wachsen des spezifischen Gewichtes verfolgen, wie aus der später folgenden Tabelle J unschwer zu ersehen ist.[1]

Ich habe, um die Giltigkeit des oben angeführten Gesetzes der Proportionalität der Härte mit dem spezifischen Trockengewichte nachzuweisen, von einigen unserer Hauptholzarten je eine Serie verschieden schwerer Probehölzer ausgewählt und auf ihre Härte untersucht; die gewonnenen Ergebnisse sind in der schon früher (Seite 14) gebrachten Tabelle C niedergelegt.

Dieses Handinhandgehen der Härteeigenschaft mit dem spezifischen Gewichte läßt sich sowohl für Hirnholz als auch für Längsholz, für den lufttrockenen Zustand des Holzes als auch den wassergetränkten verfolgen.

An dieser Stelle möchte ich den Unterschied in der Härte besprechen, welchen exzentrisch gewachsene Nadelhölzer auf der weit- und engringigen Seite aufweisen. Bekanntlich entsteht bei den meisten Nadelhölzern unter der ständigen und einseitigen Einwirkung des Windes an freistehenden oder doch gegen die herrschende Windrichtung nicht geschützten Stämmen ein stark exzentrisches Wachstum, in der Art, daß die dem Windanprall ausgesetzte Seite (in unseren Gegenden also die Westseite) schmale, die im Windschatten gelegene Seite (Ostseite) dagegen sehr breite Jahrringe anlegt. Der Zweck, den die Natur durch diese einseitige Verstärkung des Stammes zu erreichen strebt, ist wohl nur der, dem Stamme eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Biegung und Bruch durch den Wind zu verleihen. Es wirkt hier der Druck des Windes und die dadurch hervorgerufenen Biegungen des Stammes als Reiz, welcher ein stärkeres

[1] Der mittlerweile, während der Drucklegung dieser Abhandlung in der „Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen", Aprilheft 1906, erschienene Artikel Dr. Büsgens: „Holzhärte und spezifisches Gewicht" gelangt bezüglich des gegenseitigen Verhältnisses von Holzhärte und spezifischem Gewichte zu ganz gleichlautenden Resultaten.

Digitized by Google

Dickenwachstum an der dem Anprall des Windes entgegengesetzten Stammseite auslöst. [1]

Nun aber reagiert der Stamm auf den Winddruck nicht allein durch Verstärkung seiner Achse vermittels einseitig gesteigerter Wuchsgeschwindigkeit, sondern auch durch erhöhte Bildung von Festigungsgewebe an der im Wachstum begünstigten Seite, d. i. durch die Erzeugung von Rotholz. [2]

Die Holzarbeiter, denen diese Eigentümlichkeit der dem Windanprall ausgesetzten Nadelhölzer wohl bekannt ist, nennen in vollkommen richtiger Erkenntnis der Eigenschaften des in Rede stehenden Holzes die im Wachstum begünstigte, breitringige und durch den mehr oder weniger hohen Anteil an hartem und schwerem Rotholz ausgezeichnete Seite des Stammes die harte, die schmalringige (Zugseite) die weiche Seite. Namentlich an der Kiefer hat man diese Eigentümlichkeit, eine harte und weiche Seite zu bilden, beobachtet. [3] Nun hat aber Prof. Dr. Schwappach bei der Kiefer nachgewiesen, [4] daß diese Ausdrücke: „harte und weiche Seite" nicht der Druckfestigkeit entsprechen; das härtere (soll heißen druckkräftigere) Holz liege auf der schmalen Seite.

Ich habe nun derartig exzentrisch gewachsene Hölzer von Fichte, Lärche und Tanne auf spezifisches Gewicht, Druckfestigkeit und Härte untersucht und gefunden, daß die im Dickenwachstum begünstigte, breitringige und viel Rotholz enthaltende Seite des Stammes tatsächlich die härtere (im buchstäblichen Sinne genommen) Seite ist.

In Fig. 5 gebe ich die Abbildung der Querschnittsflächen der nach dieser Richtung hin untersuchten Proben, wobei die Platten Nr. 1, 3 und 5 die harte Seite, Nr. 2, 4 und 6 die jeweils einem und demselben Stammquerschnitte zugehörige weiche Seite darstellen.

Die zahlenmäßigen Untersuchungsergebnisse sind in der zu Fig. 5 gehörenden Figurenerklärung Tabelle E mitgeteilt.

Was nun die Druckfestigkeit der harten und weichen Seite anbelangt, so hat sich die Beobachtung Prof. Schwappachs als richtig ergeben; die harte Seite hat tatsächlich trotz höheren spezifischen Gewichtes die geringere Druckfestigkeit. Fichte, Lärche und Tanne zeigen auf der obigen Tabelle die größere Druckfestigkeit auf der schmalringigen (weichen) Seite. Für die Fichte bin ich übrigens in der Lage, das gleiche Gesetz an dem Probematerial eines ganzen Stammes bestätigen zu können. Ich habe eine von Jugend auf in stetem Freistande erwachsene Fichte (Parkbaum von Mariabrunn), welche die Exzentrizität des Dickenwachstums infolge des steten Windanpralles von Westen her in besonders starkem Maße zeigte, auf Druckfestigkeit in verschiedenen Stammhöhen untersucht und gefunden, daß die breitringige (harte) Seite bei einem spezifischen Absoluttrockengewichte von im Mittel 44·8 eine Druckfestigkeit im lufttrockenen Zustande von durchschnittlich 464 kg/cm^2, im absoluttrockenen Zustande 696 kg/cm^2, die schmalringige (weiche) Seite dagegen ein spezifisches Trockengewicht von 42·9, eine Druckfestigkeit lufttrocken von 483, absoluttrocken von 731 kg/cm^2 besaß. Es hat also bei den Nadelhölzern die sogenannte harte Seite zwar die größere Härte, aber die geringere Druckfestigkeit. Das Rotholz

---

[1] Der Wind als maßgebender Faktor für das Wachstum der Bäume. Von Dr. Metzger. Mündener forstl. Hefte 1895. Dickenwachstum und Holzqualität von Pinus silvestris. Von Dr. Fr. Schwarz.

[2] Das Rotholz der Fichte. Von Dr. R. Hartig. Forstl. naturwissensch. Zeitschrift 1896. — Das Rotholz der Fichte. Von Dr. A. Cieslar. Centralbl. f. d. g. Forstw. 1896.

[3] Die harte und weiche Seite der Kiefer. Von Donner. Zeitschrift f. Forst- und Jagdwesen 1875.

[4] Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. I. Die Kiefer. Von Prof. Dr. Schwappach.

Digitized by Google

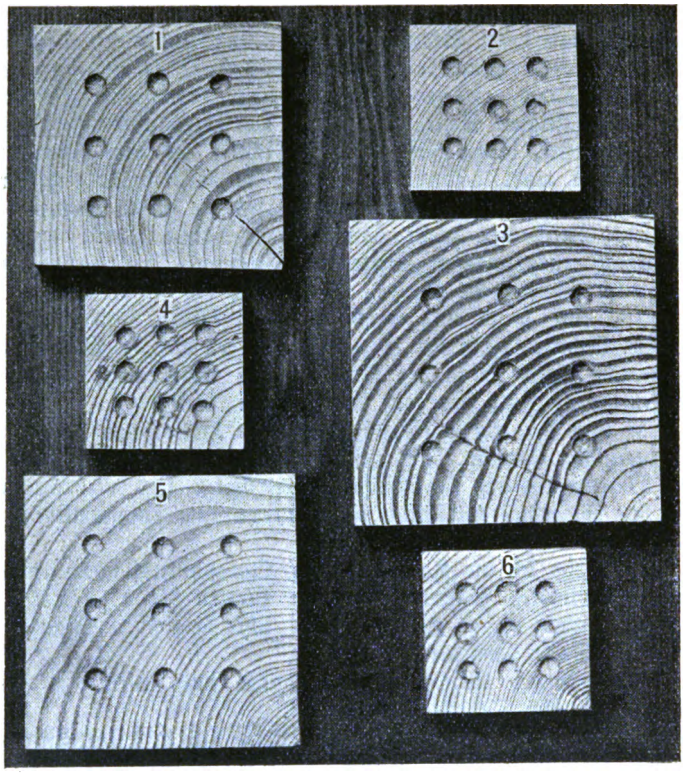


Fig. 5. Harte und weiche Seite der Nadelhölzer.

Tabelle E.

Erklärung der Fig. 5.

Holzart	Nr. der Probe	Jahrringbreite	Spezifisches Gewicht		Druckfestigkeit	Härte
			absolut trocken	lufttrocken	lufttrocken	
		mm	100fach		kg/cm²	
Harte (breitringige) Seite						
Fichte	1	4·02	45·4	49·5	415	328
Lärche	3	5·25	53·2	55·9	514	502
Tanne	5	3·91	44·9	47·8	412	435
Weiche (schmalringige) Seite						
Fichte	2	2·63	43·4	47·4	474	274
Lärche	4	3·36	52·3	55·2	568	346
Tanne	6	2·34	43·7	46·6	426	389

Digitized by Google

weicht in dieser Hinsicht von der Regel, nach welcher dem größeren spezifischen Gewichte auch die höhere Druckfestigkeit entspricht, ab, wie ich dies bereits früher ausgesprochen.[1]

Tabelle F.

Einfluß der Feuchtigkeit auf die Härte des Holzes (Hirnholz).

Holzart	Jahrringbreite mm	Feuchtigkeitszustand der Probe	Feuchtigkeit bei der Probe %	Spezif. Gewicht 100fach	Widerstand des Holzes (Holzhärte) beim Eindrücken der eisernen Halbkugel in die Hirnfläche in Feld Nr. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mittel	Reine Druckfestigkeit kg/cm²
					kg pro 1 cm²										
Fichte	2·15	naß (7 Monate im Wasser)	179·8	93·7	150	140	150	140	140	130	140	130	130	139	192
		lufttrocken	13·2	41·4	270	270	280	270	280	240	300	260	250	271	373
		zimmertrocken	12·7	40·8	260	240	260	250	240	230	260	230	220	243	414
		"	10·1	39·8	270	250	270	290	260	260	280	250	250	264	458
		absoluttrocken	0·0	37·4	260	250	280	260[2]	280	270	290	260	240[2]	266	—
Tanne	3·92	naß (7 Monate im Wasser)	170·0	95·6	160	170	170	170	200	140	150	140	140	160	198
		lufttrocken	14·6	43·1	280	360	420	360	370	310	340	310	290	338	369
		"	13·4	42·5	320	370	400	400	400	320	370	310	310	356	385
		zimmertrocken	10 3	41·6	320	370	370	370	420	300	340	320	340	350	441
		absoluttrocken	0·0	40·2	360	410	390[2]	440	350[2]	310[2]	340[2]	— [2]	—	371	—
Weißkiefer	2·61	naß (7 Monate im Wasser)	151·6	95·6	140	150	160	170	190	150	200	160	150	163	176
		lufttrocken	14·0	46·2	280	280	290	300	310	260	340	280	300	293	373
		zimmertrocken	12·6	45·5	250	260	270	290	300	240	300	250	270	270	378
		"	10·0	44·5	320	360	380	400	360	290	370	310	320	346	436
		absoluttrocken	0·0	42·8	400	350	320	360	340	320	360[2]	340[2]	340[2]	348	—
Lärche	0·75	naß (7 Monate im Wasser)	139·1	105·7	160	180	180	200	180	180	190	200	180	183	216
		lufttrocken	17·5	55·9	280	280	280	320	280	290	300	320	280	292	388
		lufttrocken	13·1	54·8	310	320	330	360	350	330	350	340	340	337	477
		zimmertrocken	10·0	53·8	350	360	360	370	400	400	390	390	380	378	587
		absoluttrocken	0·0	51·7	340	380	370[2]	380[2]	370	400	380[2]	400[2]	400[2]	380	—
Rotbuche	2·22	naß (7 Monate im Wasser)	78·5	106·8	400	460	440	420	420	460	410	490	370	430	—
		lufttrocken	15·7	78·4	740	790	770	750	770	810	740	820	740	770	467
		"	14·9	78·2	760	860	830	780	820	870	760	860	780	813	497
		zimmertrocken	10·4	76·5	830	940	920	870	940	980	880	990	940	921	640
		absoluttrocken	0·0	74·0	1170[2]	1120[2]	1070[2]	1040[2]	— [2]	1030[2]	— [2]	840[2]	—	1045	—
Eiche	2·62	naß (7 Monate im Wasser)	118·3	117·6	480	500	500	480	480	440	450	490	420	471	—
		lufttrocken	15·1	67·9	610	610	600	560	630	560	580	560	560	586	423
		zimmertrocken	12·6	67·1	680	700	620	650	620	600	620	630	580	633	492
		"	9·0	65·5	620	630	600	570	640	600	560	570	530	591	597
		absoluttrocken	0·0	62·9	730	710[2]	— [2]	700	730[2]	—	660	640	600[2]	681	—
Ulme	1·42	naß (16 Tage im Wasser)	89·0	98·2	340	400	440	450	420	450	440	440	420	422	292
		luftfeucht	17·1	64·8	420	480	520	520	530	560	530	600	580	527	377
		lufttrocken	13·0	63·5	520	540	590	620	640	640	640	680	660	614	469
		zimmertrocken	10·2	62·7	460	530	570	630	660	700	640	710	720	624	582
		absoluttrocken	0·0	60·1	530	620	640[2]	680[2]	660[2]	— [2]	690[2]	— [2]	700[2]	646	—

[1] Studien über die Qualität rasch erwachsenen Fichtenholzes. II. Technologischer Teil. „Centralblatt f. d. g. Forstw." 1902, Seite 393.

[2] Bei der Härteprobe zersprungen.

Digitized by Google

3. Einfluß der Feuchtigkeit auf die Härte des Holzes.

Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Holzhärte wurde in der Art ermittelt, daß von einigen unserer Hauptholzarten je 5 genau gleiche (von demselben parallelepipedischen Stück abgeschnittene) Probeplatten in verschiedenen Feuchtigkeitsgraden bezüglich ihrer Härte untersucht wurden. Die Tabelle F enthält die hierbei gewonnenen Versuchsergebnisse, also die direkt ermittelten Härtezahlen für jedes einzelne der 9 Teilfelder der einzelnen Probeplatten, sodann neben der Feuchtigkeitsangabe auch die spezifischen Gewichte und Druckfestigkeiten.

Von den 5 Probeplatten jeder Holzart lagen die 1er Platten 7 Monate im Wasser, waren also fast wassersatt geworden, die 2er Platten hatten etwa die normale Luftfeuchtigkeit (bei 15%), die 3er und 4er Platten waren zimmertrocken (mit etwa 12 bis 10% Feuchtigkeit), die 5er Platten endlich wurden im absoluttrockenen Zustande, nach mehr als 30stündiger Trocknung im Trockenofen, geprüft.

Diese Härteprüfungen im absoluttrockenen Zustande und in 3 verschiedenen Graden der Lufttrockenheit wurden jedoch nur an den in der obigen Tabelle F angeführten wenigen Holzarten durchgeführt. Alle übrigen, in der Tabelle J (Seite 27) aufgeführten Härteprüfungen erfolgten lediglich im nassen Zustande und bei 2 verschiedenen Lufttrockenheitsgraden, wobei die Härtezahlen der letzteren Feuchtigkeitsgrade zu einem Mittel vereinigt wurden.

Das Gesetz von der Zunahme der Festigkeit des Holzes mit der Abnahme der Feuchtigkeit gilt im allgemeinen auch für die Härteeigenschaft. Sehr nasses Holz erleidet eine starke Einbuße an seiner Härte, und zwar beträgt die Härte nassen Holzes ziffermäßig beiläufig die Hälfte jener des lufttrockenen Zustandes. Am meisten verlieren infolge starker Durchnässung die Nadelhölzer an Härte (rund 50%), weniger die Laubhölzer (etwa 35%).

Überraschend ist aber das Verhalten der Härte des Holzes, wenn dessen Wassergehalt geringer wird, als er der normalen Lufttrockenheit entspricht. Denn während die reine Druckfestigkeit in diesen Stadien der Trockenheit im stärksten Steigen begriffen ist, nimmt die Härte bei abnehmender Feuchtigkeit nur um einen geringen Betrag zu, ja es kann dieselbe sogar sich vermindern, wie dies bei dem Fichten- und Tannenholze, auch bei Eichenholz (siehe Tabelle F) zu konstatieren war. Sowohl die zahlenmäßigen Resultate, als auch das Verhalten der stark trockenen Holzproben, das Knistern der Holzfasern bei der Kugelprobe, das glatte, glänzende Aussehen der eingedrückten Fläche ließen darauf schließen, daß durch zu starke Trocknung der seitliche Zusammenhang der Holzfasern, also die Schubfestigkeit, stark vermindert, die Spaltbarkeit erhöht wird; denn die absoluttrockenen Probeplatten wurden derart spröde, daß sie in der Regel die Kugelprobe nicht mehr aushielten, sondern zersprangen. Auf diese Tatsache hat schon Duhamel du Monceau in seinem Werke: „Traité de la conservation et de la force" im Jahre 1780 aufmerksam gemacht, indem er dort sagt: „Man soll trockene Hölzer anwenden . . .; das Holz bedarf jedoch einer kleinen Menge Feuchtigkeit, damit es hart sei, woraus ich schließe, daß zu trockene Hölzer nicht gute Dienste zu leisten vermögen."

Die Abhängigkeit der Härte von dem Wassergehalte des Holzes läßt es daher, den obigen Ausführungen zufolge, nicht gleichgiltig erscheinen, in welchem Feuchtigkeitsgrade ein Holz auf seine Härte geprüft wird. Um wissenschaftlich einwandfreie Härtezahlen zu erhalten, wird man von der Feuchtigkeitsermittlung der Probehölzer nicht Umgang nehmen dürfen und zu Vergleichszwecken die Holzhärte beim Normalfeuchtigkeisgehalte bestimmen oder die erhaltenen Härtezahlen auf den Normalfeuchtigkeitsgehalt beziehen müssen. Als Normalfeuchtigkeitsgehalt eignet sich auch

Digitized by Google

für die Härteeigenschaft des Holzes am besten jener von 15%, bezogen auf das Gewicht des absoluttrockenen Holzes, einmal wegen der schon angegebenen Gründe, wonach die Härte bei weiter vorgeschrittener Trocknung sich vermindert oder sich doch nicht mehr gesetzmäßig verhält, dann aber auch deshalb, um die Vergleichbarkeit mit den Werten der Festigkeit herbeizuführen, die ja auch auf 15% Feuchtigkeit zu reduzieren sind.

4. Einfluß der Imprägnierung und der Einwirkung der Atmosphärilien auf die Holzhärte.

Ich habe im Jahre 1902 Versuche über die Eignung einiger Holzarten, und zwar der Fichte, Tanne, Weiß- und Schwarzföhre, Lärche und Rotbuche, zu Straßenpflaster angestellt, dabei eine Serie solcher Holzstöckel unimprägniert gelassen, eine andere mit Teeröl imprägniert und dieselben teils ständig im Zimmer aufbewahrt, teils der vollen Einwirkung der Atmosphärilien durch einen Zeitraum von $2^1/_2$ Jahren ausgesetzt. Dadurch ist es möglich geworden, die Einwirkung der Imprägnierung mittels Teeröles auf die Härte des Holzes sowohl bei stets im Trockenen gelegenen als auch bei dem dem Einflusse der Atmosphärilien ausgesetzten Holze zu ermitteln. Natürlich mußte bei den letzteren Probehölzern erst der Einfluß der die Härte stark beeinflussenden Feuchtigkeit eliminiert werden, was in der Weise erfolgte, daß die im Freien aufbewahrt gewesenen Holzstöckel erst $^1/_2$ Jahr lang im Zimmer getrocknet wurden, ehe sie der Härteprüfung unterzogen worden sind.

Diese Härteprüfung der etwa 15 *cm* langen, 8 *cm* breiten und 10 *cm* hohen Pflasterstöckel erfolgte durch je 8 einzelne Kugelproben in regelmäßiger Verteilung über die Hirnfläche, aus welchen Zahlenwerten sodann die Mittel gezogen wurden. Nebenbei wurde natürlich auch das jeweilige spezifische Lufttrockengewicht und die Druckfestigkeit jedes einzelnen Holzstöckels ermittelt.

Ich will zunächst die Einwirkung der Teeröl-Imprägnierung auf die Härte und Druckfestigkeit einiger Hölzer besprechen, die im imprägnierten Zustande ununterbrochen im Trocknen gelegen waren, zu welchem Zwecke ich die gewonnenen Resultate in der nachstehenden Tabelle G vorführe.

Tabelle G.

Einfluß der Teeröl-Imprägnierung auf Härte und Druckfestigkeit des Holzes.

Holzart	Feuchtigkeitszustand	Durchschnittliche Jahrringbreite	Unimprägniert			Mit Teeröl imprägniert			
			spezifisches Lufttrockengewicht	durchschnittliche Härte des Hirnholzes	Druckfestigkeit	Teeröl in 1 cm^3 Holz	spezifisches Lufttrockengewicht	durchschnittliche Härte des Hirnholzes	Druckfestigkeit
		mm	100fach	*kg/cm²*	*kg/cm²*	*g*	100fach	*kg/cm²*	*kg/cm²*
Fichte	zimmertrocken	2·56	41·4	271	382	0·124	44·5	294	439
Tanne		1·67	41·7	354	355	0·374	53·1	320	453
Weißkiefer		1·45	56·6	401	545	0·217	61·6	330	569
Schwarzkiefer		2·28	59·8	469	488	0·138	64·0	423	538
Lärche		1·48	54·8	400	484	0·074	55·6	411	517
Rotbuche		1·57	67·9	790	597	0·422	72·3	696	709

Aus diesen Zahlen der Tabelle G ergibt sich, daß durch die Teeröl-Imprägnierung die Härte des Holzes im allgemeinen vermindert wird; allerdings hat bei den beiden Holzarten Fichte und Lärche eine kleine Erhöhung der Härte infolge der Imprägnierung gegenüber derjenigen unimprägnierten Holzes stattgefunden; dies

Digitized by Google

erklärt sich aber wohl daraus, daß bei diesen beiden Holzarten die Teeröl-Imprägnierung eine schwierige ist und daher auch die Aufnahme an Teeröl bei diesen beiden Stöckeln nur eine verhältnismäßig geringe war (0·124 *g* beziehungsweise 0·074 *g* pro 1 *cm*³ Holz).

Diese Verminderung der Härte durch die Teerölinfiltration dürfte vielleicht darin ihren Grund haben, daß die Einlagerung von Öl, gleichwie bei den harzreichen Nadelhölzern die Infiltration mit (noch nicht festgewordenem) Harz die Geschmeidigkeit und Nachgiebigkeit der Holzfaser erhält. Im Gegensatze hierzu hat sich die Druckfestigkeit des imprägnierten Holzes im Laufe der Zeit infolge der starken Austrocknung der Stöckel erhöht; denn während kurz nach der Teeröl-Imprägnierung das imprägnierte Holz geringere Festigkeit aufgewiesen hatte als das unimprägnierte,[1] ist dieses Verhältnis jetzt, nach 2½ Jahren dauernder Austrocknung, gerade das entgegengesetzte geworden, wie aus der vorstehenden Tabelle G zu entnehmen ist.

Ich wende mich nun der Frage zu, in welcher Weise sich die Härte des Holzes durch den Einfluß der Atmosphärilien, also infolge einer mehr weniger vorgeschrittenen Zerstörung des Holzes durch Fäulnispilze verändert und wie hier die Wirkung der Teeröl-Imprägnierung sich äußert.

Die Teeröl-Imprägnierung fand auf verschiedene Weise statt: Durch Kochen im Öle (bei den Nadelhölzern), durch Infiltration im Vakuum und Wiederauspumpen des überschüssigen Öles (Methode Janka), ferner durch Imprägnierung mit Teerölemulsion (Methode v. Lorenz) beim Buchenholze. Da die untersuchten Holzstöckel zufolge der schon früher angegebenen Behandlungs- und Aufbewahrungsweise vollkommen lufttrocken waren, so sind auch die an ihnen ermittelten Eigenschaften, spezifisches Gewicht, Härte und Druckfestigkeit, untereinander streng vergleichbar. Bei den Buchenstöckeln wurde die Härte sowohl auf der oberen, also dem Einflusse der Atmosphärilien direkt ausgesetzten Seite. als auch auf der unteren Querfläche, auf welcher das Stöckel auflag, untersucht, Die Ergebnisse sind in der nebenstehenden Tabelle H übersichtlich geordnet.

Ziehen wir zur Vergleichung noch die frühere Tabelle G (Seite 28) heran, so ergibt sich folgendes: Während bei stetiger Aufbewahrung im Trockenen die Härte des imprägnierten Holzes geringer ist als diejenige des unimprägnierten, verkehrt sich bei den längere Zeit im Freien gelegenen Hölzern dieses Verhältnis ins Gegenteil: Das mit Teeröl imprägnierte Holz erhält sich härter als das unimprägnierte, offenbar weil die Imprägnierung die Fäulnispilze vollkommen abhält und eine Zersetzung des Holzes nicht Platz greifen kann. Die unimprägnierten Nadelhölzer wiesen zwar nach der 2½jährigen Campagne im Freien noch keine äußerlich sichtbaren Spuren von Fäulnis oder beginnender Zerstörung auf; immerhin aber deutet der Rückgang in der Härte und in der Druckfestigkeit schon auf eine beginnende nachteilige Veränderung im Bestande des Holzes hin.

Ganz bedeutend ist der Verlust an Härte und Druckfestigkeit beim unimprägnierten Buchenholze. Unimprägniertes, lufttrockenes, stets im Trockenen aufbewahrtes Buchenholz zeigt laut der Tabellen G und H eine Härte von 790 *kg/cm*², eine Druckfestigkeit von 597 *kg/cm*², und nach 2½jähriger Lagerung im Freien eine Härte von 184 *kg/cm*², eine Druckfestigkeit von 170 *kg/cm*², was einem Verluste um mehr als 70% bei beiden Eigenschaften entspricht.

Die unimprägnierten Buchenstöckel sind nach dieser verhältnismäßig kurzen. Zeit von 2½ Jahren schon fast gänzlich zersetzt, über und über mit den Frucht-

[1] Siehe des Verfassers mehrfach zitierte Studie: Die Eignung des Buchenholzes zu Straßenpflaster im Vergleiche zu Nadelhölzern.

Digitized by Google

körpern verschiedener Fäulnispilze bedeckt gewesen und stellenweise schon so weich geworden, daß man das Holz zerbröckeln konnte; ihr spezifisches Gewicht ist von etwa 68 auf durchschnittlich 45 zurückgegangen.

Tabelle H.

Veränderung in der Härte und Druckfestigkeit infolge der Einwirkung der Atmosphärilien auf unimprägniertes und mit Teeröl imprägniertes Holz.

Holzart	Unimprägniert, 2½ Jahre im Freien, sodann ½ Jahr im Trockenen gelegen				Mit Teeröl imprägniert, 2½ Jahre im Freien, sodann ½ Jahr im Trockenen gelegen				
	spezifisches Lufttrockengewicht	Härte des Hirnholzes bei der Kugelprobe: untere / obere Fläche	Härte des Hirnholzes bei der Kugelprobe: Durchschnitt	Druckfestigkeit	Teeröl in 1 cm^3	spezifisches Lufttrockengewicht	Härte des Hirnholzes bei der Kugelprobe: untere / obere Fläche	Härte des Hirnholzes bei der Kugelprobe: Durchschnitt	Druckfestigkeit
	100fach	kg/cm^2		kg/cm^2	g	100fach	kg/cm^2		kg/cm^2
Fichte	42·4	—	221	345	0·121	45·3	—	283	389
Tanne	42·0	—	221	334	0·377	53·9	—	293	435
Weißföhre	54·6	—	305	405	0·158	63·6	—	354	589
Schwarzföhre	51·8	—	309	307	0·066	57·3	—	324	349
Lärche	54·9	—	313	443	0·056	58·2	—	361	447
Rotbuche	41·8	199/143	171	151	0·374	77·0	633/595	614	582
	47·9	—	198	189	0·055	69·1	631/490	560	556
	—	—	—	—	0·055	68·7	506/420	463	468
	—	—	—	—	0·207	74·3	621/498	560	478
	—	—	—	—	0·254	75·0	615/579	597	469
	—	—	—	—	0·055	71·7	526/426	476	455
	—	—	—	—	0·109	71·1	585/469	527	473
Durchschnitt Rotbuche	44·8	199/143	184	170	—	72·4	588/497	542	497

Dagegen zeigten sich die mit Teeröl imprägnierten Buchenstöckel, wie nicht anders zu erwarten, in fast ungeschmälerter Festigkeit; ihr Verlust an Härte (696—542 kg/cm^2) betrug nur etwa 20%, an Druckfestigkeit (709—497 kg/cm^2) etwa 30% der Werte des stets im Trockenen aufbewahrten imprägnierten Buchenholzes; aber ein Umstand wies doch darauf hin, daß der ununterbrochene Einfluß der Atmosphärilien auch an den imprägnierten Buchenstöckeln nicht spurlos vorübergegangen ist: Sie zeigten nämlich, und besonders deutlich die schwächer imprägnierten, auf der oberen, den vereinten Wirkungen von Sonnenschein, Regen, Schnee und Eis ausgesetzten Seite eine etwas geringere Härte als auf der unteren, der Lagerseite; diese Differenz in der Härte der beiden Querflächen beträgt zirka 16% des Wertes der härteren, unteren Seite.

Wenn man die hier untersuchten, zu Straßenpflaster in Betracht kommenden Holzarten, natürlich im imprägnierten Zustande, in bezug auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkungen der Atmosphärilien — und dieser drückt sich ja gewiß in dem Härtegrade aus, den das Holz nach einer längeren Lagerung

Digitized by Google

im Freien noch aufweist — miteinander vergleicht, so muß man dem Buchenholze weitaus die erste Stelle einräumen; es übertrifft die Nadelhölzer hierin ganz bedeutend. Daß diese Eigenschaft der größeren Härte des imprägnierten Buchenholzpflasters gleichzeitig auch die Gewähr für eine geringe Abnutzung durch den Straßenverkehr bilden muß, ist einleuchtend.

IV. Resultate der Härteprüfungen.

Um einen Gesamtüberblick über die in den vorhergehenden Abschnitten besprochenen Faktoren, welche auf die Härte des Holzes Einfluß nehmen, zu geben, und die Härtezahlen der verschiedenen Holzarten untereinander vergleichen zu können, gebe ich die Resultate der Härteprüfungen in der nachstehenden Tabelle J. Die Aneinanderreihung erfolgte nach der Härtezahl des lufttrockenen Zustandes, ohne Rücksicht auf natürliche Verwandtschaft der Holzarten, in der Art, daß mit dem weichsten Holz begonnen wird und das härteste den Abschluß bildet.

Die Härte der Hölzer, in unserem Sinne als Widerstand gegen das Eindringen einer Halbkugel von 1 cm^2 größtem Kreise verstanden, liegt also zwischen den weiten Grenzen von 140 kg/cm^2 beim Palmenholz und 1561 kg/cm^2 beim Ebenholze; diese beiden Hölzer dürften übrigens auch die Extreme der Härte aller Hölzer überhaupt darstellen.

Zwischen diesen beiden Extremen der Härte könnten nunmehr die einzelnen Holzarten nach Maßgabe ihrer Härtezahlen in einzelne Grade einer Härteskala eingereiht werden; man würde hierzu die Härtezahlen auf 1 mm^2 gedrückter Fläche beziehen, um nicht mit zu großen Zahlen rechnen zu müssen, so daß also Palmenholz die Härte 1·4, Ebenholz 15·6 besäße.

Da aber das von mir beigebrachte Material in bezug auf Holzartenzahl doch zu lückenhaft ist und erst in der Richtung ergänzt werden müßte, daß noch die hier fehlenden Holzarten der Härteprüfung mittels Kugelprobe zu unterziehen wären, so halte ich einen diesbezüglichen Vorschlag noch für verfrüht.

Aber auch nach einem anderen Gesichtspunkte könnte die Reihung der Holzarten auf Grund der Härteeigenschaft erfolgen, d. i. nach der Größe des

$$\text{Quotienten } \frac{\text{Härte (in } kg)}{\text{spezifisches Gewicht (100fach)}}, \text{ natürlich}$$

beide Eigenschaften bei einem gleichen, bestimmten Feuchtigkeitsgrad ermittelt, als welcher sich die Feuchtigkeit des lufttrockenen Zustandes von 15% am besten eignet. Da wir gesehen haben, daß im allgemeinen die Holzhärte mit der Größe des spezifischen Gewichtes wächst, so ist jenes Holz als das widerstandsfähigste, für gewisse Zwecke als das geeignetste zu betrachten, welches große Härte mit möglichst geringem spezifischen Gewichte vereinigt; dieser Forderung wird unser „Härtequotient" gerecht. Ich habe diese Zahl in der Tabelle J angegeben und gleichzeitig den analog gebildeten „relativen Qualitätsquotienten:

$$\frac{\text{Druckfestigkeit}}{\text{spezifisches Gewicht}}$$

" beigefügt.

Diese beiden Quotienten unterscheiden sich nun wesentlich voneinander: Bei den Nadelhölzern ist der Härtequotient kleiner als der Qualitäts-(Druckfestigkeits-)Quotient, bei den Laubhölzern ist das Verhältnis umgekehrt. Es eignen sich daher die Laubhölzer besser zu Werkholz, wo es sich um größere Widerstandsfähigkeit gegen Stoß und Abnutzung handelt, die Nadelhölzer wieder besser zu Bauzwecken, wo das Verhältnis von Festigkeit und Gewicht ein möglichst günstiges sein soll.

Digitized by Google

Tabelle J.

Durchschnittliche Härte einzelner Holzarten.

Holzart	Spezifisches Absolutrocken-gewicht	Jahrringbreite	Härteprüfung mittels Halbkugel								Reine Druckfestigkeit		Quotient		
			von der Hirnfläche aus						Radialfläche	Tangentialfläche			lufttrocken		
			im nassen Zustande			im lufttrockenen Zustande			lufttrocken		naß	lufttrocken	Härte	Spez. Gew.	Druckfest. Spez. Gew.
			Spez. Gewicht	Feuchtigkeit	Härte	Spez. Gewicht	Feuchtigkeit	Härte	Härte						
	100fach	mm	100fach	%	kg/cm²	100fach	%	kg/cm²	kg/cm²		kg/cm²				
Palmenholz	36·1	—	—	—	—	39·7	17·2	140	163	147	—	145	3·5	3·7	
Fichte	39·5	2·43	93·9	175·8	146	41·9	13·5	281	160	182	189	383	6·7	9·1	
Linde	40·0	4·00	—	—	—	42·6	11·6	282	210	250	—	335	6·6	7·9	
Weißkiefer	48·7	2·42	102·9	142·6	164	52·6	12·5	344	231	237	188	442	6·5	8·4	
Zitterpappel	47·5	4·89	—	—	—	51·3	14·7	357	293	360	—	366	7·0	7·1	
Schwarzkiefer	52·2	2·41	101·9	116·1	153	55·8	12·6	361	260	272	150	408	6·5	7·3	
Tanne	40·6	2·80	97·3	163·3	168	43·9	14·2	362	182	187	212	392	8·3	8·9	
Lärche	56 8	1·73	104·8	119·1	221	60·5	14·4	396	328	337	268	496	6·6	8·2	
Teakholz	62·7	2·35	—	—	—	66·7	11·6	443	380	420	—	575	6·6	8·6	
Edelkastanie	56·3	1·80	—	—	—	60·0	11·0	474	348	285	—	542	7·9	9·0	
Sumpfkiefer	56·5	0·82	108·2	182·9	272	61·0	12·8	491	407	383	—	397	8·0	6·5	
Tulpenbaum	50·8	5·32	100·4	129·1	285	54·2	12·7	500	362	361	—	376	9·2	6·9	
Elsbeere	66·6	—	—	—	—	71·5	16·6	632	527	560	—	438	8·8	6·1	
Ulme	62·8	1·98	103·9	92·6	452	67·6	14·3	635	544	480	—	434	9·4	6·4	
Zerreiche	75·0	1·33	—	—	—	79·3	16·3	665	667	517	—	497	8·4	6·3	
Eibe	64·6	0·54	—	—	—	73·1	12·8	689	687	590	—	620	9·4	8·5	
Nußbaum	62·2	4·55	113·7	116·0	399	67·2	13·6	705	584	532	—	420	10·5	6·3	
Stiel- und Traubeneiche	71·5	1·64	108·4	86·3	498	76·1	13·9	724	619	487	—	545	9·5	7·2	
Bergahorn	61·1	1·66	114·7	113·8	492	65·8	13·7	739	521	547	—	477	11·2	7·2	
Korkeiche	71·9	2·29	—	—	—	78·5	15·4	772	677	677	—	400	9·8	5·1	
Mehlbeere	72·1	1·56	—	—	—	77·8	15·2	789	733	657	—	568	10·1	7·3	
Esche	76·9	3·38	—	—	—	81·8	17·2	815	743	790	—	563	10·0	6·9	
Hülse (Ilex)	80·0	1·15	—	—	—	86·2	16·7	841	907	797	—	478	9·8	5·5	
Rotbuche	71·2	1·78	112·1	85·6	522	75·1	14·6	845	713	638	—	562	11·3	7·5	
Ölbaum	75·0	—	—	—	—	80·6	10·1	916	740	750	—	530	11·4	6·6	
Weißbuche	81·2	1·12	99·9	45·7	616	85·0	12·9	1048	747	740	—	668	12·3	7·9	
Ebenholz	109·6	—	—	—	—	114·1	11·2	1561	1723	1603	—	705	13·7	6·2	

Digitized by Google

Betrachten wir uns diese beiden Quotienten für die verschiedenen Holzarten auf Tabelle I, so hat Ebenholz mit seiner hohen Härte auch den höchsten Härtequotienten 13·7, Fichte anderseits den höchsten Druckfestigkeitsquotienten 9·1; das Minimum beider weist das Palmenholz auf (3·5 beziehungsweise 3·7).

Im Gegensatze zum Fichtenholz mit einem Härtequotienten von 6·7 hat das Tannenholz einen verhältnismäßig hohen Härtequotienten (8·3); dies läßt darauf schließen, daß der seitliche Zusammenhang der Holzfasern (die Schubfestigkeit) trotz gleicher Dichte des Holzes, bei der Tanne ein festerer sein muß als bei der Fichte. Wir haben gesehen, daß innerhalb einer und derselben Holzart sowohl die Härte als auch die Druckfestigkeit mit dem Steigen des spezifischen (Trocken-) Gewichtes zunehmen; da aber das gegenseitige Verhältnis von Härte und spezifischem Gewichte, beziehungsweise von Druckfestigkeit und spezifischem Gewichte bei verschiedenen Holzarten ein verschiedenes ist, so müssen wir schließen, daß für die Größe der Härte einer Holzart andere Eigenschaften maßgebend sind wie für die Höhe der Druckfestigkeit überhaupt, und wir werden nicht fehlgehen, wenn wir die Härte mit dem gegenseitigen seitlichen Zusammenhang, der Kohärenz der Fasern, die Druckfestigkeit mit der Steifheit der Holzfasern, dem Widerstande gegen Knickung, in Verbindung bringen. Aus der Größe der spezifischen Gewichte verschiedener Holzarten läßt sich somit noch nicht auch auf die Härte derselben ein giltiger Schluß ziehen, wie dies ja auch bei der Druckfestigkeit unmöglich ist; das Gesetz der Proportionalität von Härte und Druckfestigkeit mit dem spezifischen Gewichte gilt eben streng genommen nur innerhalb einer und derselben Holzart.

V. Härte des Holzes, gemessen als Widerstand gegen das Eindringen einer Axtschneide.

Der Versuch, die Härte eines Holzes durch die Leistung der Säge in der Art zu bestimmen, daß als Maßstab für die Härte des Holzes die Größe der in gleichen Zeiträumen und mit gleich starken Holzstücken erhaltenen Querschnittsflächen angenommen wird, wurde schon von Nördlinger gemacht, jedoch nicht allgemein durchgeführt und zum Abschlusse gebracht. Die zahlreichen von späteren Forschern in dieser Hinsicht unternommenen Sägeversuche verfolgten nicht den Zweck der Härtebestimmung des Holzes, sondern dienten der Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Waldsägen überhaupt.

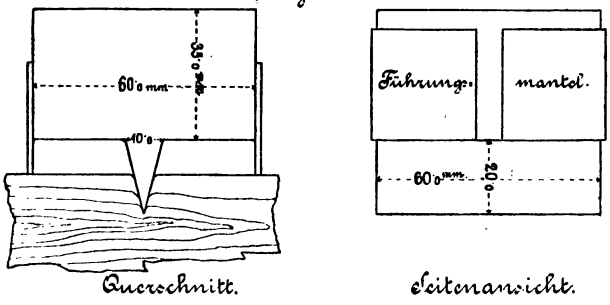
Über die Größe der Kraft, welche für die Arbeit der Axt (Hacke), insoweit sie nicht als Spaltwerkzeug dient, erforderlich ist, und über die Größe des Widerstandes (Härte), welche die verschiedenen Holzarten der Arbeit der Axt entgegensetzen, liegen meines Wissens noch keine zahlenmäßigen Angaben vor.

Meine im nachfolgenden beschriebenen Untersuchungen über den Eindringungswiderstand eines der Axtschneide nachgebildeten Druckstückes in Holz verfolgen daher den Zweck, diese Lücke ausfüllen zu helfen. Da diese Versuche nach ihrer ganzen Anlage als Untersuchungen über die Härte des Holzes, welche sich eben als Eindringungswiderstand des Holzes gegen die eindringende Axtschneide äußert, gedacht sind, so mögen sie als Anhang zu den Härteprüfungen des Holzes hier Platz finden.

Als eindringender Körper diente ein in Fig. 6 abgebildetes und den schon früher beschriebenen Druckstücken ähnliches eisernes Druckstück von der Form eines Keiles mit 6 *cm* langer Schneide, welches 2 *cm* tief ins Holz mittels der Festigkeitsprüfungsmaschine eingetrieben und dessen Eindringungswiderstand in Kilogramm von der Maschine registriert wird. Untersucht wurden einige Hauptholzarten, und zwar Fichte, Tanne, Weißföhre, Lärche, Rotbuche, Eiche, Ulme, Ahorn und

Digitized by Google

Eisernes Druckstück
in Form einer 6 cm langen Axtschneide
zur Prüfung der Härte des Holzes.



Querschnitt. Seitenansicht.

Fig. 6.

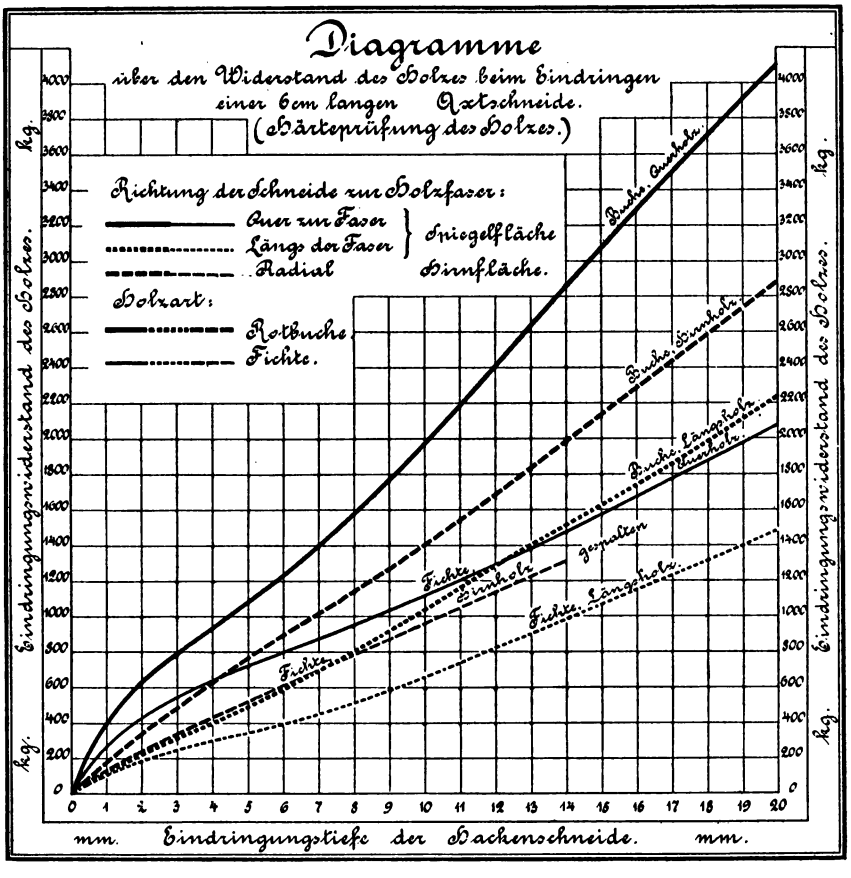


Fig. 7.

Nußbaum. Von jeder dieser Holzarten wurden mindestens 2 und höchstens 6 einzelne Proben von verschiedenem spezifischen Gewichte dieser Prüfung unterzogen. Als Probehölzer dienten 50 *cm* lange, 10 *cm* starke, der Länge nach aus dem Stamme geschnittene Pfostenabschnitte mit dem Kern in der Mitte.

Digitized by Google

Diese Pfostenstücke wurden zunächst im lufttrockenen Zustande (bei etwa 17% Feuchtigkeit) und sodann im angefeuchteten Zustande (mit zirka 25% Wassergehalt) auf ihre Härte gegenüber der eindringenden Axtschneide in zwei Richtungen, längs der Faser und quer zur Faser, geprüft, wobei der Angriff der Schneide von der Tangentialseite der Pfosten aus erfolgte. Der Härteprüfungsschnitt von der Hirnfläche aus (in radialer und tangentialer Richtung zu den Jahrringen) konnte nur im feuchten Zustande des Holzes durchgeführt werden, da es sich herausstellte, daß die Pfosten unter der Spaltwirkung des eindringenden Keiles (der Axtschneide) aufspalteten und die Spaltwirkung grundsätzlich vermieden werden sollte. Trotzdem spalteten auch in diesem feuchten Zustande einige der untersuchten Hölzer auf, für welche sodann die spaltende Kraft und die Eindringungstiefe der Schneide angegeben wurden, bei welcher die Spaltung eintrat.

Die Versuche beschränkten sich auf astfreies Holz.

Wie die mit dem Registrierapparate der Materialprüfungsmaschine aufgenommenen Diagramme in Fig. 7 dartun, wächst der Eindringungswiderstand, den die ins Holz eingedrückte Axtschneide findet, erst bei größerer, etwa 8 bis 10 *mm* überschreitender Tiefe des Druckstückes proportional mit letzterer, während er anfangs, solange die Axtschneide noch nicht 10 *mm* Tiefe erreicht hat, stärker wächst als die Schnittiefe. Nur bei der Untersuchung der Schnitthärte des Hirnholzes stellte sich das gegenseitige Verhältnis von Widerstand und Eindringungstiefe gleich von Anfang an als gleichbleibend dar.

Die Diagramme in Fig. 7 gelten für lufttrockenes Buchen- und Fichtenholz; das Buchenholzprobestück war von verhältnismäßig sehr geringem (66·6), das Fichtenholz dagegen von hohem spezifischen Gewichte (49·3), daher auch der geringe Unterschied zwischen den Diagrammen dieser beiden, in der durchschnittlichen Härte sonst viel weiter auseinanderliegenden Holzarten.

Ich führe in der nachstehenden Tabelle K die Untersuchungsergebnisse dieser Versuchsreihe nach den Einzelnresultaten als auch nach den berechneten Durchschnittswerten der einzelnen Holzarten an, wobei ich noch erwähne, daß die Einzelresultate wiederum arithmetische Mittel von je drei Prüfungsergebnissen sind.

Vor allem ist aus den Daten der Tabelle K wiederum zu ersehen, daß die Feuchtigkeit des Holzes eine bedeutende Härteverminderung zur Folge hat, daß also sowohl beim Nadel- als auch beim Laubholze die Axtschneide in feuchtes Holz bedeutend leichter eindringt als in trockenes. Diese Verminderung der Härte feuchten Holzes gegenüber lufttrockenem beträgt für Nadelholz, sowohl beim Längs- als auch beim Querholze etwa 35%, für Laubholz etwa 35% beim Längsholze, zirka 26% beim Querholze.

Nicht so ausgesprochen deutlich tritt der Einfluß des spezifischen Gewichtes auf die in Rede stehende Art der Härte bei unseren Versuchsergebnissen hervor; der Grund hierfür dürfte wohl darin gelegen sein, daß bei den verhältnismäßig großen Probestücken die vorgenommenen drei Einzelproben für Längs- und Querholz nicht genügend waren, den richtigen Durchschnitt der Holzhärte des betreffenden Probestückes zu liefern. Ich bin vollkommen überzeugt, daß auch diese Härte, nämlich der Widerstand des Holzes gegen das Eindringen der Axtschneide, mit dem Wachsen des spezifischen Gewichtes sich erhöht, wenn man nur imstande wäre, alle die verschieden schweren und verschieden harten Partien eines und desselben Probestückes mit der Härteprüfung zu treffen.

Um die Axtschneide quer zur Faser ins Holz einzutreiben, ist bei den Nadelhölzern (Fichte, Tanne, Weißföhre und Lärche) — ob trocken oder feucht, durchschnittlich eine doppelt so große Kraft erforderlich, als sie beim Eintreiben in Längsholz nötig ist; bei den untersuchten Laubhölzern: Buche, Eiche, Ahorn, Ulme und Nußbaum ist dagegen die Härte im Querholze etwas geringer als das Doppelte der Härtezahl für Längsholz; sie beträgt im

Digitized by Google

Tabelle K.

Härte des Holzes, gemessen als Widerstand gegen das Eindringen einer Axtschneide.

Nr. des Probestückes	Holzart	Jahrringbreite	Spezifisches Absoluttrockengewicht	Härteprüfung des Holzes durch Eindrücken einer 6 cm langen, 2 cm tiefen und 1 cm an der Basis breiten Axtschneide									
				von der Tangentialfläche aus				von der Hirnfläche aus					
				im lufttrockenen Zustande (zirka 17%)		im feuchten Zustande des Holzes bei zirka 25% Feuchtigkeit							
								ohne Spaltung		es trat eine Spaltung des Holzes ein in			
										radial. Richt.		tangent. Richt.	
				Schneide längs der Faser	Schneide quer zur Faser	Schneide längs der Faser	Schneide quer zur Faser	in radialer Richtung	in tangentialer Richtung	Widerstand	Eindringungstiefe	Widerstand	Eindringungstiefe
		mm	10fach	Eindringungswiderstand in kg						kg	mm	kg	mm
1	Fichte	3·60	35·3	590	1217	423	783	585	515	—	—	—	—
2		4·53	37·2	790	1527	507	820	465	530	—	—	—	—
3		2·38	41·8	880	1847	560	1187	830	900	—	—	—	—
4		1·55	42·2	740	1600	493	1110	400	625	470	16·0	—	—
5		2·25	42·9	963	1780	577	1277	990	800	—	—	—	—
6		1·85	49·3	1073	2173	790	1383	760	840	—	—	—	—
Mittel		2·69	41·5	839	1691	558	1093	672	702	—	—	—	—
7	Tanne	4·06	36·9	730	1350	533	867	560	605	—	—	—	—
8		1·94	38·2	910	1873	593	1073	700	870	—	—	—	—
9		1·69	42·0	897	1673	680	1173	690	640	—	—	—	—
10		1·76	42·5	997	1907	497	1050	795	825	—	—	—	—
11		1·68	42·9	923	1693	680	1157	1080	900	—	—	—	—
Mittel		2·23	40·5	891	1699	597	1064	765	768	—	—	—	—
12	Weißkiefer	2·51	45·6	910	1773	660	1027	555	542	—	—	—	—
13		3·62	45·6	957	2040	500	1023	—	—	510	18·0	465	19·0
14		3·68	50·1	1113	2090	670	1290	760	790	—	—	—	—
15		3·66	52·0	937	1860	600	1057	655	615	—	—	—	—
Mittel		3·37	48·3	979	1941	607	1099	657	649	510	18·0	465	19·0
16	Lärche	3·81	52·7	1097	2097	837	1503	815	1270	—	—	—	—
17		2·48	56·5	1123	2507	693	1743	—	1200	1080	14·5	—	—
18		2·02	59·7	1407	2553	997	2033	1020	975	980	16·5	—	—
19		0·80	62·1	1370	2793	777	1810	—	865	813	17·3	—	—
Mittel		2·28	57·8	1249	2488	826	1772	918	1075	958	16·1	—	—
20	Rotbuche	1·96	69·7	2920	4683	2000	3460	—	—	1550	15·0	1255	10·0
21		2·06	70·6	2760	4903	1707	3200	—	—	970	14·0	1390	13·5
22		2·15	72·1	3243	4560	2077	3820	—	—	1105	13·0	1775	14·5
23		2·11	72·2	2553	4183	1893	3433	1940	2750	1740	18·0	2150	17·0
24		1·61	73·7	3117	5290	1773	3403	—	—	1260	16·0	1755	17·5
25		1·67	75·1	3020	4667	2300	3653	1670	2410	—	—	2100	19·0
Mittel		1·93	72·2	2935	4714	1958	3495	1805	2580	1325	15·2	1737	15·2
26	Eiche	1·58	63·1	2177	3283	1633	2687	—	—	1520	15·0	1270	12·5
27		1·47	63·1	2583	3843	1713	2947	—	—	970	12·0	1215	12·0
28		1·44	73·4	2820	4470	1917	3590	—	—	985	11·0	1640	11·5
29		1·88	75·7	2773	4167	1983	3313	—	—	950	9·5	1380	11·0
Mittel		1·59	68·8	2588	3941	1812	3134	—	—	1106	11·9	1376	11·7
30	Ulme	2·01	60·8	2230	3550	1403	2307	1350	1620	1210	19·0	1160	12·0
31		1·64	62·7	2397	4127	1540	2803	1645	1940	—	—	—	—
32		3·70	63·1	2223	3573	1547	2907	1720	—	1120	14·0	1550	17·5
Mittel		2·45	62·2	2283	3750	1497	2672	1572	1780	1165	16·5	1355	14·7
33	Ahorn	1·42	62·7	2703	4143	2017	3300	2300	—	1650	19·0	2515	18·5
34		1·35	63·8	2740	4007	1863	2787	—	—	1120	15·0	1460	14·0
Mittel		1·38	63·3	2722	4075	1940	3044	2300	—	1385	17·0	1987	16·3
35	Nußbaum	3·81	57·2	3050	3627	1627	2740	—	—	1415	16·5	1780	16·0
36		3·52	60·5	2257	3550	1217	2347	2010	2300	1760	17·0	2310	19·0
Mittel		3·66	58·9	2653	3588	1422	2544	2010	2300	1587	16·8	2045	17·5

Digitized by Google

I 2414.

Durchschnitte beim trockenen Holze 152%, beim nassen 172% der betreffenden Härtezahlen für Längsholz. Der Härtewiderstand, welcher — mit Ausschluß jeglicher Spaltung — beim Eindringen der Axtschneide ins Hirnholz zu überwinden ist, ist nach unseren Ergebnissen für die (feuchten) Nadelhölzer etwas größer — (um etwa 20% des Wertes der Härtezahl des Längsholzes) — als die Härte des (gleich feuchten) Längsholzes. Für die Laubhölzer sind die bezüglichen Resultate, wie schon oben erwähnt, deswegen unvollständig, weil die meisten Probehölzer vor dem vollständigen Eindringen des Druckstückes auf 2 *cm* Tiefe — aufspalteten. Nur der Umstand läßt sich allenfalls noch feststellen, daß die weichen Nadelhölzer Fichte, Tanne und Weißföhre, so ziemlich einen gleichen Härtewiderstand aufweisen, ob nun die Axtschneide radial oder tangential zu den Jahrringen wirkt, während bei den Laubhölzern die Härte radial, also in der Richtung der Markstrahlen, eine bedeutend geringere ist als tangential zu den Jahrringen.

Damit haben wir auch das Kapitel über die Spaltbarkeit, die Spaltfestigkeit, beziehungsweise die Zähigkeit des Holzes berührt, worüber aber hier nur einige wenige Ergebnisse kurz namhaft gemacht werden sollen, welche sich bei den in Rede stehenden Versuchen ergeben haben.

Am zähesten erwies sich bei diesen Versuchen das Holz der Tanne, dann das der Fichte und Weißföhre, da bei diesen Holzarten die eindringende Axtschneide entweder gar keine oder doch nur ganz vereinzelt eine Spaltung hervorrief. Dagegen ist das Holz der Eiche so spröde, daß es bei allen vorgenommenen Härteproben von Hirn aus aufspaltete, und zwar schon bei einer Eindringungstiefe des Druckstückes von im Mittel 12 *mm*. Etwas weniger, aber doch noch leicht spaltbar erwies sich das Buchenholz; es spaltete bei 15 *mm* Eindringungstiefe des Axtschneide-Druckstückes auf. Dabei ist, wie schon erwähnt, die Kraft, bei welcher die Probestücke aufspalteten, in radialer Richtung geringer als in tangentialer, d. h. es ist bei den harten Laubhölzern Buche, Eiche, Ahorn, Ulme und Nußbaum die Spaltfestigkeit in der Richtung der Markstrahlen bedeutend geringer, die Spaltbarkeit also größer als senkrecht zu denselben.

Dr. W. F. Exner hat mit Recht darauf hingewiesen,[1] daß die Nördlingersche Methode der Ermittlung der Spaltfestigkeit (Zerreißen einer gabel- oder kluppenförmigen Holzprobe) nicht dem Vorgange entspricht, wie die Spaltfestigkeit in der Praxis überwunden wird. Viel näher würde man der Wirklichkeit kommen, wenn man die Spaltfestigkeit in der Art prüfen würde, wie ich den Widerstand gegen das Eindringen der Axtschneide ins Holz ermittelt habe, also durch Eintreiben eines axtartig geformten Keiles mittels der Festigkeitsprobiermaschine und Beobachtung sowohl der Eindringungstiefe, bei welcher das (in bestimmten Dimensionen gehaltene) Probeholz aufspaltet als auch des hierbei vom Holze geleisteten Eindringungswiderstandes.

„Wir befinden uns hier" — sagt Exner — „einer Aufgabe gegenüber, welche sowohl in theoretischer als experimenteller Richtung ein schwieriges, aber dankbares Gebiet der Forschung darstellen würde."

---

[1] Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Von Wilh. Fr. Exner, in 2. Auflage bearbeitet von G. Lauböck. Loreys Handbuch der Forstwissenschaft.

K. u. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien

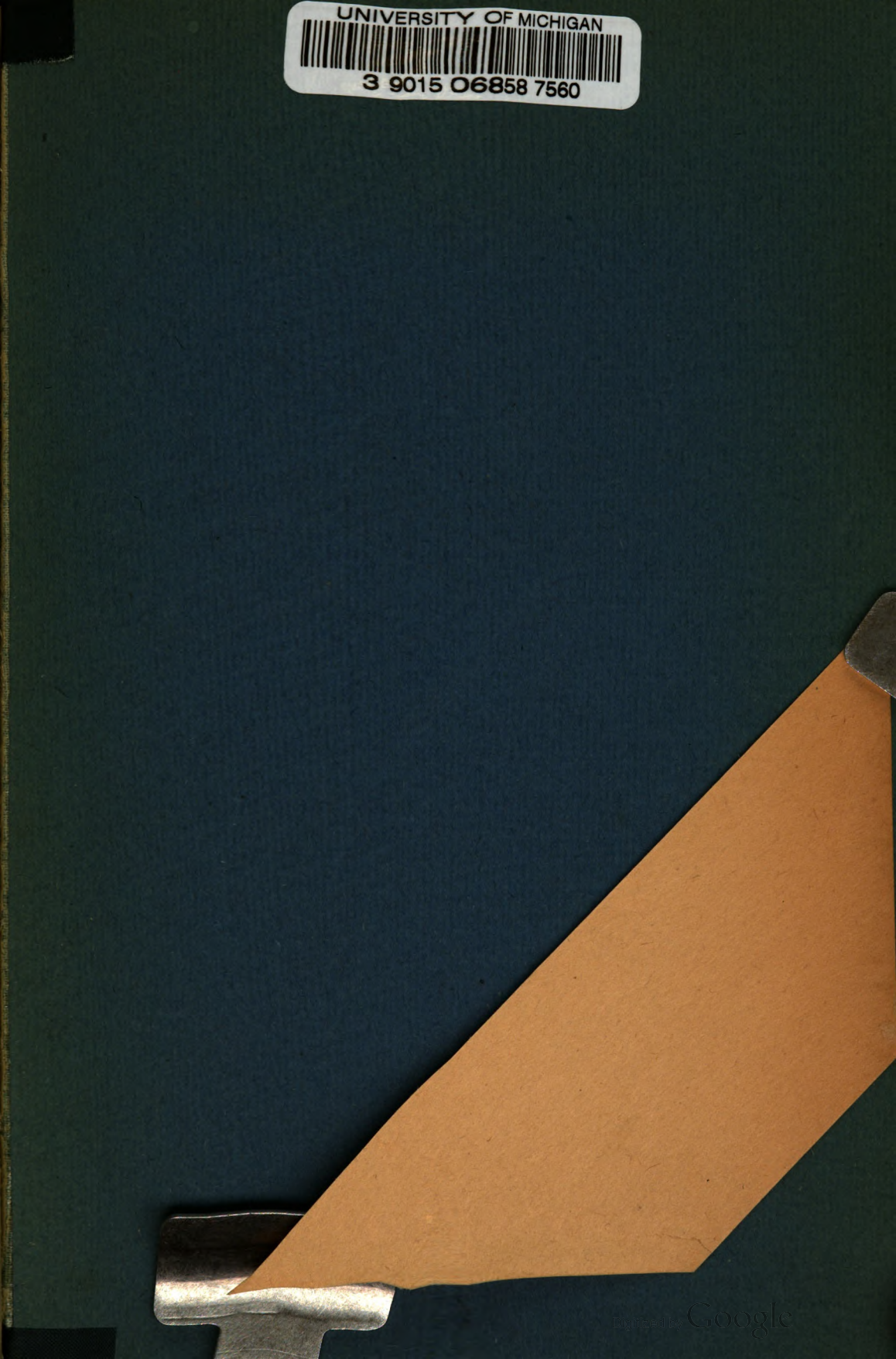
Digitized by Google

Digitized by Google

K. u. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06858 7560



Digitized by Google

Digitized by Google